



**Mirela Sofia Gomes  
da Costa**

**Redução das Emissões de CO<sub>2</sub> na Manufactura de  
Equipamento Térmico**



**Universidade de Aveiro**  
**Ano 2011**

Departamento de Economia, Gestão e Engenharia  
Industrial

**Mirela Sofia Gomes  
da Costa**

**Redução das emissões de CO<sub>2</sub> na Manufactura de  
Equipamento Térmico**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas Energéticos Sustentáveis, realizada sob a orientação científica do Doutor Fernando José Neto da Silva, Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho à minha família.

## **o júri**

presidente

**Prof. Doutor Nelson Amadeu Dias Martins**

Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Luís António da Cruz Tarelho**

Professor auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Fernando José Neto da Silva**

Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

Quero manifestar os meus sinceros agradecimentos a todos que, directa ou indirectamente, contribuíram para que a realização deste trabalho fosse possível.

Em particular aos meus dois orientadores: Fernando Neto, pela pronta disponibilidade, excelente trabalho como orientador, apoio e partilha de conhecimentos utilizados para a realização desta dissertação. Nuno Alves, pelo incondicional apoio e incentivo às sugestões que fui apresentando na empresa e, não menos importante, pela amizade.

Em especial ao Paulo Ferreira e Eliseu Matos pela amizade, paciência, ensinamento, sugestões e a pela disponibilidade imediata para ouvir as novas ideias e pelas suas sinceras opiniões, mesmo que negativas!

Ao Fernando Amaro pela disponibilidade, apoio nos trabalhos realizados na produção e pela amizade.

Ao HSE e à minha ilha, pelos momentos divertidos, pelo apoio e partilha de conhecimentos.

Ao Pompeu, Esteves, Nélson Tavares, Sr. Santos, José Gonçalves, Hugo, mecânicos, Sandra e Cláudia.

Ao João, pelo carinho e pela força.

Um obrigado muito especial ao João Roque da Cunha.

Por último, mas igualmente importante, agradeço à empresa *Bosch Termotecnologia* pela possibilidade de realizar o meu estágio na empresa e pela disponibilidade de meios e recursos para a realização desta dissertação.

**palavras-chave**

Consumo de energia eléctrica e térmica, ar comprimido, emissões de CO<sub>2</sub>, eficiência energética.

**resumo**

O sector da indústria, considerado o segundo maior consumidor de energia, tem tido uma contribuição significativa no aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Para a empresa multinacional Bosch Termotecnologia, grande consumidora de energia, a utilização racional de recursos naturais, nomeadamente recursos energéticos, tem sido desde sempre uma preocupação.

É neste âmbito que surge este trabalho e que tem como principais objectivos o aumento da eficiência energética na empresa e a redução de emissões de CO<sub>2</sub>, associadas aos processos produtivos.

Este estudo foi direccionado para o consumo de ar comprimido na empresa e para os equipamentos com elevados consumos energéticos. Por conseguinte, foram traçados perfis de energia para os equipamentos analisados. Por outro lado, analisaram-se os consumos de ar comprimido, locais e utilizações, propondo-se medidas para a redução dos pontos de consumo de ar comprimido e consequente optimização da rede.

Foram propostas medidas de cariz técnico e comportamental cujos resultados alcançados revelam poupanças significativas de energia, por ano, na ordem dos 72 500 euros e permitem reduzir cerca de 328 toneladas de CO<sub>2</sub> o que, face às emissões no ano 2010, representa 6.5 % do total emitido, contribuindo para o objectivo inicial desta dissertação.

**keywords**

Electric and thermal energy consumption, compressed air, CO<sub>2</sub> emissions, energetic efficiency.

**abstract**

As the second largest energy consumer, the manufacturing sector has made a significant contribution to the increase of CO<sub>2</sub> atmospheric concentrations. The rational use of natural resources, namely energy, has always been a serious concern for Bosch Termotecnologia, given its status as multinational company and a major energy consumer.

The present dissertation arose within this framework, its objectives being the increase of the company's energy efficiency and the reduction of the CO<sub>2</sub> emissions associated with its productive processes.

This study focused on compressed air consumption of in the company, as well as on equipments with high energy consumptions, which led to the definition of energy profiles. The compressed air consumptions, locations and utilizations were thoroughly analyzed, leading to the proposition of compressed air consumption points reductions and network optimization.

Proposed technical and behavioural measures were shown to enable significant energy savings of 72 500 € a year, allowing a reduction of 328 tonnes in CO<sub>2</sub> emissions. This value represents 6.5 % of total CO<sub>2</sub> emissions in 2010, illustrating the achievement of this work's main goal.

# ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS .....	i
ÍNDICE DE TABELAS .....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS .....	iv
LISTA DE SÍMBOLOS .....	v
LISTA DE ACRÓNIMOS.....	vi
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Produção energética .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Consumo energético .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3. Apresentação da empresa .....</b>	<b>5</b>
<b>1.3.1. Situação energética e ambiental da empresa .....</b>	<b>7</b>
<i>a) Caracterização energética da empresa .....</i>	<i>8</i>
<i>b) Emissões atmosféricas .....</i>	<i>9</i>
<i>c) Auditoria Energética .....</i>	<i>10</i>
<b>2. OBJECTIVOS E MOTIVAÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>12</b>
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1. Processo produtivo .....</b>	<b>15</b>
<b>4.2. Identificação dos grandes consumidores de energia.....</b>	<b>16</b>
<b>4.3. Apresentação dos cinco grandes consumidores de energia.....</b>	<b>19</b>
<b>4.3.1. Central de ar comprimido .....</b>	<b>19</b>
<b>4.3.2. Fornos de soldadura .....</b>	<b>19</b>
<b>4.3.3. Linha de pintura electrostática.....</b>	<b>19</b>
<b>5. CASO DE ESTUDO: BOSCH TERMOTECNOLOGIA .....</b>	<b>20</b>
<b>5.1. Caracterização das actividades fabris .....</b>	<b>20</b>
<b>5.1.1. Central de ar comprimido .....</b>	<b>20</b>
<b>5.1.2. Fornos de soldadura .....</b>	<b>21</b>
<b>5.1.3. Linha de pintura electrostática.....</b>	<b>24</b>
<b>5.2. Ar comprimido .....</b>	<b>25</b>
<b>5.2.1. Abordagem geral .....</b>	<b>26</b>
<b>5.2.2. Fugas de ar comprimido .....</b>	<b>29</b>
<b>5.3. Fornos de soldadura .....</b>	<b>38</b>
<b>5.3.1. Forno de soldadura n.º 3 .....</b>	<b>39</b>
<b>5.3.2. Forno de soldadura n.º 4 .....</b>	<b>41</b>
<b>5.3.3. Forno de soldadura n.º 5 .....</b>	<b>43</b>
<b>5.4. Linha de pintura electrostática.....</b>	<b>45</b>
<b>5.5. Súmula geral .....</b>	<b>46</b>



<b>6.</b>	<b>MEDIDAS DE RACIONALIZAÇÃO ENERGÉTICA E AMBIENTAL.....</b>	<b>51</b>
6.1.	Medida 1 – Aplicação de válvula de corte em todas as rebitadoras existentes na fábrica ...	51
6.2.	Medida 2 – Substituição de rebitadoras pneumáticas por rebitadoras eléctricas .....	54
6.3.	Medida 3 – Substituição de aparafusadoras pneumáticas por aparafusadoras eléctricas...	55
6.4.	Medida 4 – Aplicação de válvulas de corte nos aparelhos utilizados para a realização de testes de estanquidade – ATEQ's .....	58
6.5.	Medida 5 – Aplicação de redutores de pressão nas pistolas de ar comprimido .....	59
6.6.	Medida 6 – Substituição das actuais pistolas de ar comprimido por pistolas economizadoras de energia, com redutor de pressão.....	60
6.7.	Medida 7 – Aplicação de bocais economizadores de energia nas actuais pistolas de ar comprimido .....	62
6.8.	Medida 8 – Outras medidas de optimização da utilização de ar comprimido .....	62
6.9.	Medidas de eficiência energética para os cinco grandes consumidores de energia .....	66
6.9.1.	Fornos de soldadura n.º 3, 4 e 5 .....	66
6.9.2.	Linha de pintura .....	68
6.9.3.	Central de ar comprimido.....	68
<b>7.</b>	<b>RESULTADOS EXPECTÁVEIS DE IMPLEMENTAÇÃO DAS MEDIDAS PROPOSTAS .....</b>	<b>70</b>
7.1.	Medida 1 – Aplicação de válvula de corte em todas as rebitadoras existentes na fábrica ...	71
7.2.	Medida 2 – Substituição de rebitadoras pneumáticas por rebitadoras eléctricas .....	75
7.3.	Medida 3 – Substituição de aparafusadoras pneumáticas por aparafusadoras eléctricas...	77
7.4.	Medida 4 – Aplicação de válvulas de corte nos aparelhos utilizados para a realização de testes de estanquidade – ATEQ's .....	81
7.5.	Medida 5 – Aplicação de redutores de pressão nas pistolas de ar comprimido .....	82
7.6.	Medida 6 – Substituição das actuais pistolas de ar comprimido por pistolas economizadoras de energia, com redutor de pressão.....	85
7.7.	Medida 7 – Aplicação de bocais economizadores de energia nas actuais pistolas de ar comprimido .....	90
7.8.	Medida 8 – Outras medidas de optimização da utilização de ar comprimido .....	93
7.9.	Medidas de eficiência energética para os cinco grandes consumidores de energia .....	98
<b>8.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>100</b>
<b>9.</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>103</b>
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>105</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procura de energia primária no mundo [4].....	1
Figura 2. Evolução da intensidade energética (energia para consumo final por PIB a preços constante de 2000) de Portugal comparada com as médias da União Europeia a 15 (UE - 15) e a 27 (UE - 27) [7].....	2
Figura 3. Evolução do consumo de energia primária em Portugal [8]. ....	3
Figura 4. Consumo de energia final por sector, no ano 2009 [8].....	4
Figura 5. Indicadores globais do desempenho ambiental de 2010 [10].....	7
Figura 6. Evolução do consumo específico total de energia na Bosch Termotecnologia, em 2010 [10].....	8
Figura 7. Evolução das emissões de CO <sub>2</sub> na Bosch Termotecnologia, em 2010 [10]. ....	10
Figura 8. Estado de cumprimento do Protocolo de Quioto na UE.....	13
Figura 9. Representação esquemática do processo produtivo [24].....	15
Figura 10. Torres de refrigeração para tratamento da água dos fornos 3, 4 e 5. ....	22
Figura 11. Modo de funcionamento dos compressores durante a semana 2 a 9 de Dezembro de 2010. ....	27
Figura 12. Diagrama de carga de energia eléctrica dos compressores associado à semana de 2 a 9 de Dezembro de 2010.....	28
Figura 13. Fugas nas UTA's.....	30
Figura 14. Encaixes de mangueiras com fugas, assinaladas com um círculo. ....	31
Figura 15. Fugas numa aparafusadora (imagens da esquerda) e numa rebitadora (imagem da direita) ....	31
Figura 16. Localização mais comum das fugas de ar comprimido na Bosch Termotecnologia. ....	31
Figura 17. Secções mais relevantes em matéria de fugas de ar comprimido. ....	32
Figura 18. Medições de caudal de fugas de ar comprimido utilizando o caudalímetro de ar (assinalado com um rectângulo vermelho).....	33
Figura 19. Fuga de ar, assinalada a vermelho, numa mangueira numa prensa <i>Haulick B, S822</i> .....	34
Figura 20. Calculador de fugas de ar, disponível no website na “smc” [18]. ....	34
Figura 21. Diagrama de carga de energia eléctrica associado a duas semanas de Dezembro de 2010.....	39
Figura 22. Diagrama de carga associado ao caudal de gás natural, em m <sup>3</sup> , durante duas semanas do mês de Dezembro de 2010.....	40
Figura 23. Diagramas de carga de energia eléctrica medidos durante duas semanas dos meses de Novembro e Dezembro de 2010.....	41
Figura 24. Diagramas de carga associados ao consumo de gás natural, em m <sup>3</sup> , durante duas semanas dos meses de Novembro (a) e Dezembro (b) de 2010, da esquerda para a direita, respectivamente. ....	42
Figura 25. Diagramas de carga de energia eléctrica associados a duas semanas dos meses de Novembro e Dezembro de 2010.....	43
Figura 26. Diagramas de carga associados ao caudal de gás propano, em m <sup>3</sup> /h, durante duas semanas dos meses de Novembro e Dezembro de 2010. ....	44
Figura 27. Conjunto de caudalímetros do forno n.º 5. ....	44
Figura 28. Diagrama de consumo de energia eléctrica da linha de pintura. ....	45
Figura 29. Diagrama de consumo associado ao consumo de gás natural, em m <sup>3</sup> , na linha de pintura. ....	46

Figura 30. Repartição do consumo de energia eléctrica pelos grandes consumidores de energia, em 2010. ...	47
Figura 31. Repartição do consumo de energia térmica pelos grandes consumidores de energia, em 2010. ....	47
Figura 32. Repartição do consumo total de energia pelos grandes consumidores de energia, em 2010. ....	48
Figura 33. Tabela utilizada para o cálculo de emissões de CO <sub>2</sub> na empresa. ....	50
Figura 34. Rebitadora com sistema de armazenamento de rebites num copo cilíndrico – figura a) da esquerda, e rebitadora com tubo que conduz os rebites para uma caixa de armazenamento – figura b) da direita. ....	52
Figura 35. Rebitadora (assinalada em baixo) com válvula de corte (assinalada em cima). ....	54
Figura 36. Pontos de consumo de ar comprimido na empresa Bosch Termotecnologia. ....	55
Figura 37. Aparafusadoras pneumáticas. ....	56
Figura 38. Aparafusadora eléctrica. ....	56
Figura 39. Equipamento para teste de estanquicidade com orifício (assinalado a vermelho) que debita ar de forma contínua, S872, linha 5. ....	59
Figura 40. Pistola de ar série VNG e bocal de sopro de ar série KN [18]. ....	61
Figura 41. Tipo de bocais economizadores de energia. ....	62
Figura 42. Controlador de ar comprimido. ....	64
Figura 43. Calculador utilizado para o cálculo das pistolas. ....	86
Figura 44. Resultados para 6 bar. ....	87
Figura 45. Resultado para 4 bar. ....	87
Figura 46. Esquema de um bocal de sopro de ar de grande eficácia, série KN [18]. ....	91
Figura 47. Calculador de energia “smc” [18]. ....	92
Figura 48. Perfil de consumo de ar comprimido na empresa no dia 13 de Junho de 2011. ....	93
Figura 49. Perfil diário de consumo de ar comprimido na empresa em diferentes períodos do dia. ....	94
Figura 50. Perfil de consumo de ar comprimido num dia sem produção (Sábado, 2 de Julho de 2011). ....	95
Figura 51. Perfil de consumo de ar comprimido associado a fugas, por secção. ....	96

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Valores de dependência energética em Portugal e na UE-27 [7].	3
Tabela 2. Consumo de energia na empresa, de acordo com a fonte utilizada, no ano 2010.	9
Tabela 3. Valor das emissões de CO <sub>2</sub> em Portugal [7].	12
Tabela 4. Equipamentos de maior consumo de energia, térmica e eléctrica, na empresa.	17
Tabela 5. Características dos compressores.	20
Tabela 6. Número total de horas de trabalho dos compressores.	21
Tabela 7. Identificação e contabilização de fugas de ar comprimido	33
Tabela 8. Comparação do valor de fugas obtido através do caudalímetro com o cálculo através de um calculador de fugas.	35
Tabela 9. Quantificação das 176 fugas encontradas na empresa.	35
Tabela 10. Desperdício de energia na empresa associado a fugas de ar comprimido.	37
Tabela 11. Características dos equipamentos de maior consumo de energia na fábrica.	48
Tabela 12. Consumos, emissões de CO <sub>2</sub> e custos associados aos equipamentos de grande consumo de energia na empresa, no ano 2010.	49
Tabela 13. Desperdícios de energia associados aos cinco grandes consumidores de energia.	50
Tabela 14. Levantamento de rebitadoras existentes na fábrica.	53
Tabela 15. Características dos dois tipos de rebitadoras (Fonte: dados obtidos por uma empresa fornecedora de rebitadoras, a “Drilco”).	54
Tabela 16. Características das aparafusadoras pneumáticas e eléctricas.	57
Tabela 17. Tempos de aparafusamento para a mesma aplicação, pelos dois tipos de aparafusadoras.	57
Tabela 18. Levantamento dos ATEQ’s presentes na fábrica e respectivo caudal de ar comprimido.	58
Tabela 19. Situação actual para 1 rebitadora enquanto debita continuamente ar.	71
Tabela 20. Implementação da medida proposta. Cenário para as 18 rebitadoras.	72
Tabela 21. Implementação da medida proposta. Cenário para as 20 rebitadoras existentes na fábrica.	75
Tabela 22. Comparação entre os dois tipos de aparafusadoras. Cenário para as 74 aparafusadoras.	80
Tabela 23. Situação actual dos 15 ATEQ’s na empresa.	82
Tabela 24. Cenário actual e previsto para as pistolas com a adaptação da medida proposta.	84
Tabela 25. Resultados alcançados para esta medida.	86
Tabela 26. Resultados actuais (6 bar) e previstos nas duas situações específicas.	90
Tabela 27. Consumo actual das 52 pistolas e novo consumo após aplicação do novo bocal.	92
Tabela 28. Acções a implementar na secção piloto.	97
Tabela 29. Poupança de energia associada à redução da temperatura de manutenção nos fornos.	98

## LISTA DE ABREVIATURAS

CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
GN	Gás natural
GPL	Gás Petróleo Liquefeito – Gás propano
GW	Gigawatt
kg	Quilograma
kcal	Kilocaloria
kgep	Kilograma equivalente de petróleo
kWh	Quilowatt-hora
min	Minuto
mm	Milímetro
Mio	Milhões
Mton	Megatonelada
PIB	Produto Interno Bruto
PCI	Poder calorífico inferior
s	Segundo
t	Temperatura
Ton	Tonelada
USD	<i>United States Dollar</i> – Dólar norte-americano
VAB	Valor actual bruto
W	Watt
WC	Casa de banho

## LISTA DE SÍMBOLOS

€	Euros
m <sup>3</sup>	Metro cúbico

## **LISTA DE ACRÓNIMOS**

SGCIE	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
GEE	Gases com Efeito de Estufa
UE	União Europeia

## 1. INTRODUÇÃO

A preservação do Ambiente assume um papel cada vez mais preponderante na melhoria da nossa qualidade de vida, reflectindo-se no modo como conduzimos todas as nossas actividades. Esta nova consciência envolve naturalmente a realidade industrial, pelo que o desempenho ambiental das empresas constitui um factor determinante para a sua competitividade [1].

A energia é a componente chave no desenvolvimento da sociedade moderna; ela promove o crescimento económico e melhora a qualidade de vida. O aumento da população mundial tem contribuído para o aumento do consumo de energia e estima-se que em 2030 os níveis de procura sejam 45 % superiores, comparativamente à situação actual, como se pode verificar pelo gráfico da figura 1 [2]. Como consequência da forte dependência energética, tem surgido uma maior preocupação sobre a disponibilidade de energia e o impacte que tem sobre o ambiente, dado que grande parte da electricidade que consumimos ainda provém de fontes fósseis, como carvão, óleo e gás (fig. 1), as quais são responsáveis pela emissão de mais de metade das emissões de gases com efeito de estufa no mundo [3].

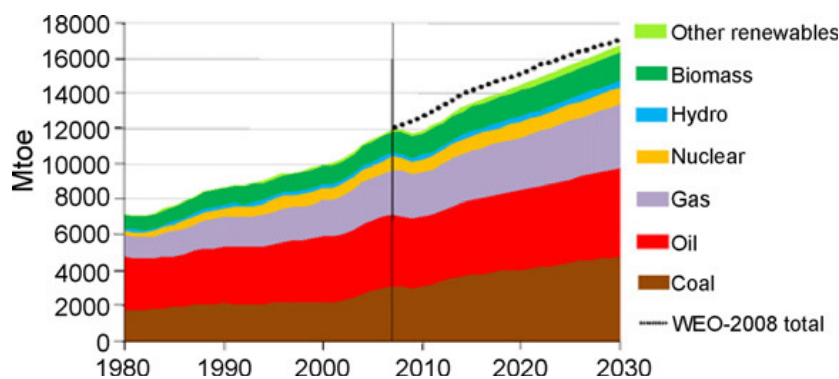
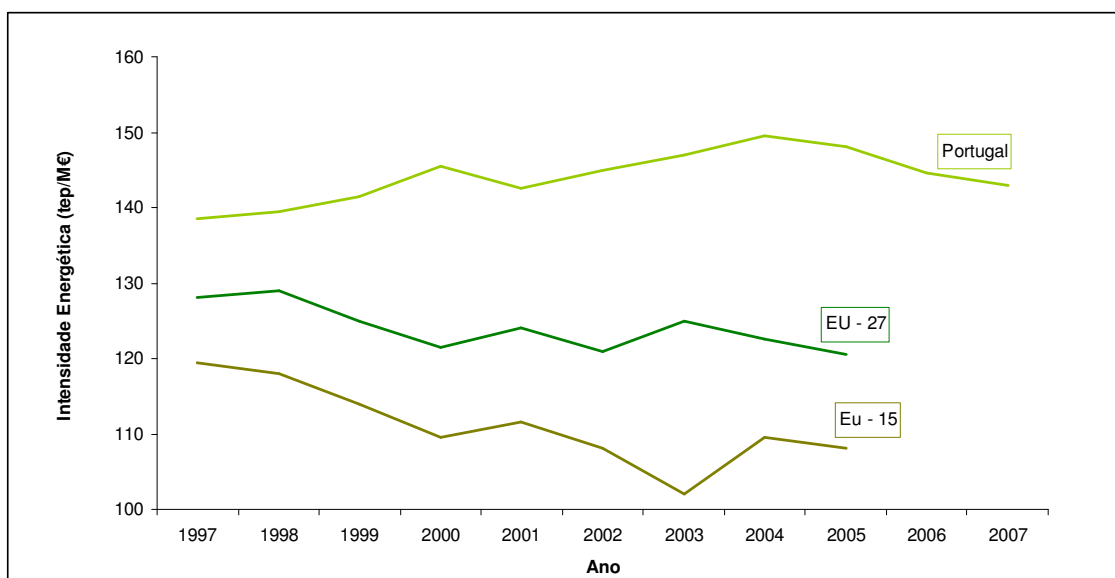


Figura 1. Procura de energia primária no mundo [4].

Esta realidade conduziu à criação de legislação ambiental, auditorias de energia, normas e certificação, entre outras. Desse modo, a procura de energia e a sua racionalização estão agora a adquirir maior visibilidade nas indústrias modernas, apostando na eficiência energética como forma de contribuir para a redução dos impactes ambientais globais, que por sua vez representa também poupanças económicas significativas e vantagens muito competitivas [5].



A utilização eficiente, numa base energética estrategicamente adequada é essencial para a competitividade económica de um país. Portugal é um país com uma elevada intensidade energética, sendo este um indicador da eficiência energética global do país. De acordo com o SGCIE [2], entre 1997 e 2007 a evolução da intensidade energética em Portugal, expressa em consumo de energia primária final (tep) por unidade de Produto Interno Bruto (PIB em milhão de euros), divergiu significativamente da média europeia (fig. 2). Contudo, observa-se para o nosso país uma inversão da tendência nos anos entre 2005 e 2007 que ocorreu devido ao efeito cumulativo da diminuição do consumo de energia final e do aumento do PIB.



**Figura 2. Evolução da intensidade energética (energia para consumo final por PIB a preços constante de 2000) de Portugal comparada com as médias da União Europeia a 15 (UE - 15) e a 27 (UE - 27) [7].**

## 1.1. Produção energética

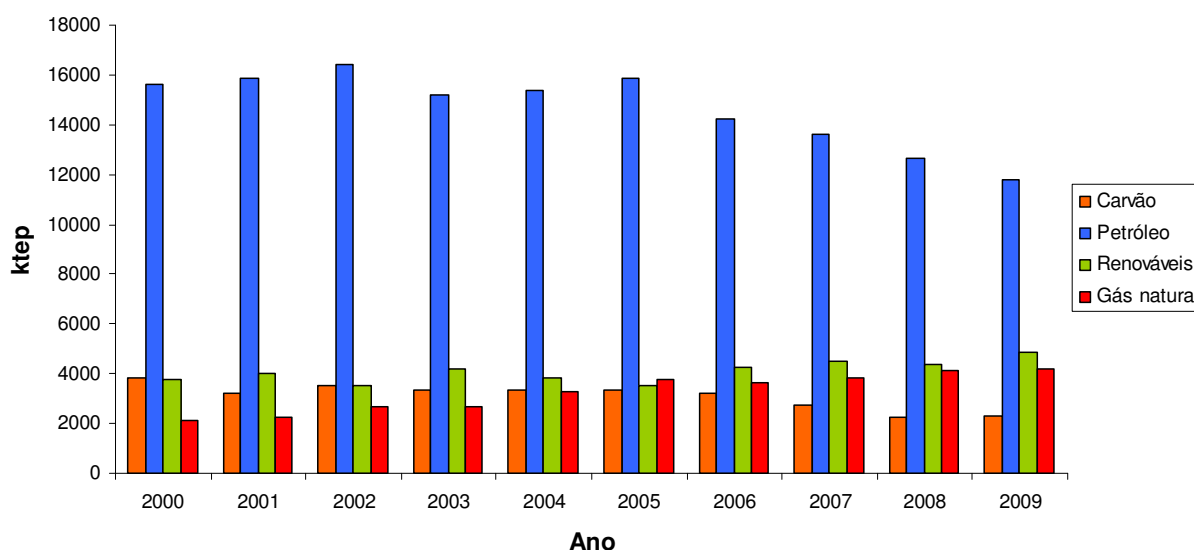
Portugal é um país com escassos recursos energéticos endógenos, nomeadamente, aqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas da maioria dos países desenvolvidos (como o petróleo, carvão e gás natural). A escassez de recursos fósseis conduz a uma elevada dependência energética do exterior (81,2% em 2009 – tabela 1), nomeadamente das importações de fontes primárias de origem fóssil. Importa assim

aumentar a contribuição das energias renováveis como a hídrica, eólica, solar, geotérmica, biomassa, entre outras. A taxa de dependência energética tem vindo a decrescer desde 2005, apesar de ter sofrido um ligeiro agravamento no ano de 2008 relativamente a 2007.

**Tabela 1. Valores de dependência energética em Portugal e na UE-27 [7].**

	Consumo de energia (Mton) (2007)	Quantidade de energia importada (Mton) (2007)	Dependência energética (%) (2009)
<b>Portugal</b>	25.3	21.6	81.2 <sup>[8]</sup>
<b>UE-27</b>	1825.2	1010.1	54.7 <sup>[9]</sup>

O gráfico da figura seguinte mostra a evolução do consumo de energia primária em Portugal, no período 2000-2009.



**Figura 3. Evolução do consumo de energia primária em Portugal [8].**

Pelo gráfico da figura 3 constata-se que o petróleo mantém um papel essencial na estrutura de abastecimento, representando 48,7 % do consumo total de energia primária em 2009, contra 51,6 % em 2008.

Tal como noutras economias com baixa eficiência energética e fortemente dependentes da importação de energia primária, muito em especial do petróleo e do gás natural, o equilíbrio externo da economia portuguesa é fortemente condicionado pela variação do preço do petróleo [8].

Por outro lado, o gás natural contribuiu, no último decénio, para diversificar a estrutura da oferta de energia e reduzir a dependência exterior em relação ao petróleo; manifestou uma evolução positiva no mix energético, representando este combustível, em 2009, 17,5 % do total do consumo em energia primária contra 17,0 % em 2008.

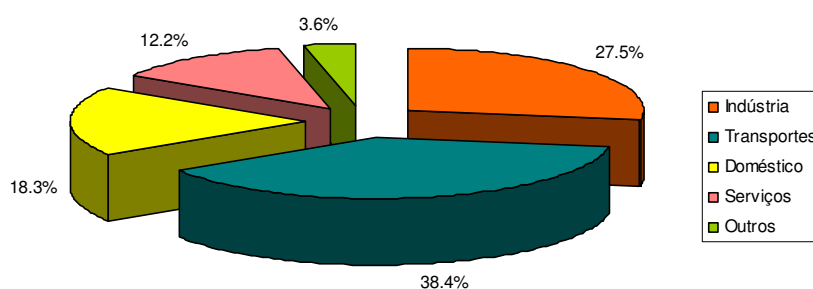
Quanto ao carvão, este representou em 2009 11,8 % do total do consumo de energia primária. Prevê-se uma redução progressiva do peso de carvão na produção de electricidade devido ao seu impacte nas emissões de CO<sub>2</sub>.

No mesmo ano, o contributo das energias renováveis no consumo total de energia primária foi de 20 % contra 17,7 % em 2008.

É notável o crescimento da potência instalada em fontes de energias renováveis nos últimos anos, para a produção de electricidade. Em 2009 atingiu-se 9 207 MW de potência instalada em hídrica, 578 MW em biomassa, 3 608 MW em eólica, 30 MW em geotérmica e 115,2 MW em energia fotovoltaica. No total, em 2009 foram produzidos 1 931 GWh de energia eléctrica a partir de fontes renováveis [8].

## 1.2. Consumo energético

O consumo total de energia está repartido por diversos sectores. Vejamos o gráfico da figura seguinte:



**Figura 4. Consumo de energia final por sector, no ano 2009 [8].**

Em 2009, o sector que mais energia consumiu no nosso país foi o dos transportes, logo seguido do sector da indústria, com consumos que rondam os 38 % e os 28 % respectivamente, como se verifica na fig. 4. O sector com a menor fatia no consumo de

energia em Portugal engloba os sectores da agricultura, pesca, construção e obras públicas, e representou cerca de 4 % deste consumo.

No sector doméstico assiste-se a um aumento do consumo de energia eléctrica por unidade de alojamento (2 630 kWh/alojamento em 2009 contra 2 510 kWh/alojamento no ano anterior). Em relação às formas de energia utilizadas, verifica-se uma diminuição nos consumos dos produtos de petróleo e um aumento do consumo de gás natural.

Portugal ainda é um dos países da União Europeia com menor consumo de electricidade *per capita*: em 2008 consumiu 4 822 kWh correspondendo ao 20.º lugar dos países europeus.

Em 2009 Portugal ainda apresentou um consumo de energia final *per capita* de 1.64 tep/habitante e uma intensidade energética final de 136 tep/ 10<sup>6</sup> €. Em 2008 a intensidade carbónica no país foi de 0.43 kg de CO<sub>2</sub>/ 2000 USD e emitiu para a atmosfera 4.94 toneladas de CO<sub>2</sub> *per capita*, resultantes de processos de combustão [8].

### 1.3. Apresentação da empresa

A *Bosch Termotecnologia SA* iniciou a sua actividade em Cacia, Aveiro, no ano de 1977, tendo por designação social *Vulcano Luso Ibérica Termodomésticos*, sendo constituída inicialmente por capital totalmente nacional. Actualmente pertence ao Grupo Bosch, integrando a sua divisão da Termotécnica que, em conjunto com as suas subsidiárias, lidera o mercado Europeu de produtos de aquecimento e soluções de água quente.

A actividade da Bosch Termotecnologia é a concepção, desenvolvimento, produção, comercialização e assistência após venda de equipamentos para aquecimento de água. Produz mais de 900 modelos de esquentadores dirigidos a um público diversificado e com exigências distintas. Aplicando os mesmos critérios de rigor, segurança e qualidade no fabrico de esquentadores, a Bosch Termotecnologia dispõe de uma vasta gama de modelos de caldeiras murais, produzindo mais de 120 modelos diferentes [10].

O processo produtivo da empresa está dividido em três partes principais: fabrico, pré-montagem e montagem. Quando uma matéria-prima chega à empresa é armazenada próximo do local onde vai ser utilizada. Na primeira parte, as matérias-primas são transformadas em peças que vão ser posteriormente encaixadas na pré-montagem, formando os constituintes fundamentais do produto final que é montado na terceira parte. A produção é apoiada por vários departamentos como a engenharia, os recursos humanos, a qualidade, o ambiente e a segurança [11].

Em 2007, no seguimento de uma decisão de investir na construção de competências na área do solar térmico, alargou-se a gama de produtos produzidos, introduzindo o fabrico e montagem de colectores solares, contribuindo assim para o aumento da eficiência energética, promovendo a utilização de fontes de energia renováveis.

A sede e instalações fabris da Bosch Termotecnologia localizam-se em Aveiro e encontram-se dentro do âmbito da certificação ISO 14001 e do registo EMAS.

A Bosch Termotecnologia preocupa-se com o impacto da sua actividade no meio ambiente; desse modo, compromete-se a melhorar continuamente aquilo que faz, contribuindo assim para um desenvolvimento sustentável [10]. Como empresa do Grupo Bosch, tem uma motivação ainda mais forte para a melhoria contínua, sendo certificada pelas normas de:

- Qualidade ISO 9001;
- Ambiente ISO 14001;
- Ambiente EMAS;
- Segurança OHSAS 18001.

A utilização racional dos recursos energéticos tem sido, desde sempre, uma preocupação da Bosch Termotecnologia. Esta preocupação tem como finalidade a protecção ambiental, com especial ênfase no aumento da eficiência energética na empresa e consequente diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> associadas aos processos produtivos, tendo em atenção a necessidade de salvaguardar a respectiva base competitiva no quadro da economia global.

Ao longo dos últimos anos foram implementadas várias medidas para a redução de consumos de energia eléctrica e térmica (gás natural e gás propano), principais fontes de energia utilizadas, sendo as acções implementadas de cariz técnico e também de cariz comportamental [10].

### 1.3.1. Situação energética e ambiental da empresa

Na Bosch Termotecnologia e ao longo do ciclo de vida dos seus produtos, está patente o objectivo de salvaguardar recursos, apostando na melhoria contínua dos produtos, tendo em conta considerações ambientais e assim contribuir para um desenvolvimento sustentável.

A figura 5 apresenta, de um modo geral, os indicadores que caracterizam a ambientalmente a empresa, fruto de medidas que ao longo dos anos têm vindo a ser implementadas com vista à redução de consumos. O tempo de referência é o ano 2010.

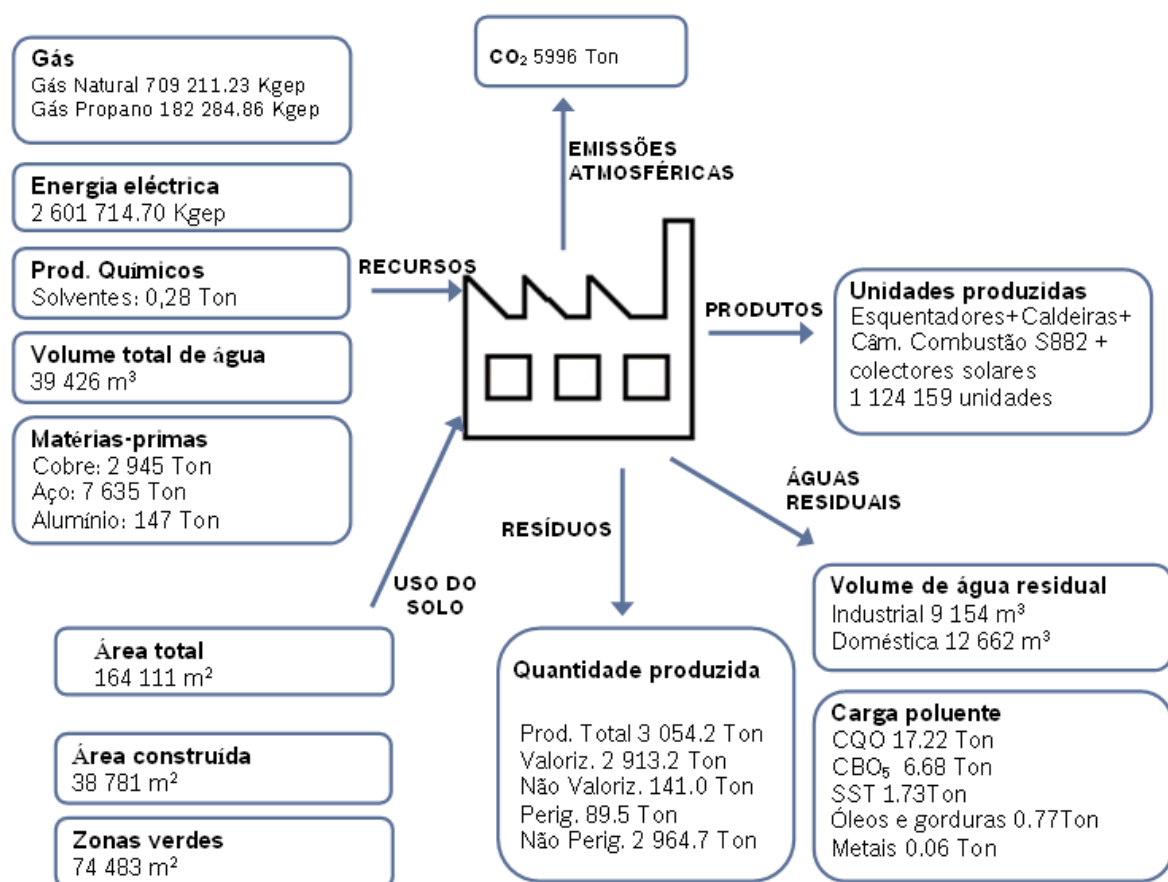
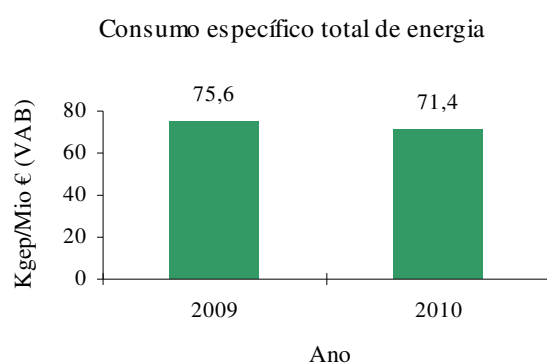


Figura 5. Indicadores globais do desempenho ambiental de 2010 [10].

### *a) Caracterização energética da empresa*

Em 2010, o consumo específico de energia da Bosch Termotecnologia foi de 71.4 kgep/Mio€ (VAB), valor inferior ao objectivo interno estabelecido (74.5 kgep/Mio€ (VAB)), alcançando-se os objectivos pretendidos de reduzir os consumos de energia. Isto foi possível através de uma melhoria nos sistemas de iluminação, nos processos produtivos, na climatização e também na utilização de ar comprimido.



**Figura 6. Evolução do consumo específico total de energia na Bosch Termotecnologia, em 2010 [10].**

Em termos de iluminação, a melhoria foi feita através de uma substituição integral das lâmpadas existentes na altura, de baixa eficiência, por lâmpadas de elevada eficiência energética, na nave fabril, assim como a substituição de balastros convencionais por balastros electrónicos e a instalação de fotocélulas em zonas de passagem e WC's.

Relativamente aos processos, a implantação de colectores solares permitiu o aquecimento de águas de processo produtivo no edifício AV109 que outrora eram aquecidas por gás natural contribuindo, não só, para a diminuição do consumo de energia térmica como também para a aposta nas energias renováveis.

Quanto à climatização, ocorreu uma substituição de equipamentos com uma maior eficiência energética assim como um controlo mais eficaz na climatização em áreas de utilização comum.

Por outro lado, melhorias na optimização do uso de ar comprimido, mediante a automação do sistema de controlo dos compressores e através da aquisição de mais um compressor com variador electrónico de velocidade, contribuíram para os resultados alcançados em 2010.

Estas actuações permitiram reduzir o consumo específico de energia do ano 2009 para o ano 2010 como se pode constatar pelo gráfico da figura 6.

Em termos genéricos, o consumo de energia na empresa no último ano pode ser consultado na tabela seguinte.

**Tabela 2. Consumo de energia na empresa, de acordo com a fonte utilizada, no ano 2010.**

Fonte de energia	Consumo de energia (MWh)	Emissões de CO <sub>2</sub> (ton)
Gás natural	9 254.8	1 395.6
Gás propano	2 212.5	477.2
Electricidade	8 971.4	3 735.9
<i>Energia eléctrica sob a forma de ar comprimido</i>	<i>1 043.4</i>	<i>434.5</i>
<b>Total</b>	<b>20 438.7</b>	<b>5 608.7</b>

Pode-se verificar pela tabela 2 que a fonte de energia mais utilizada na unidade é o gás natural e a que mais contribui para o aumento da poluição atmosférica é a energia eléctrica, com mais de 3 700 toneladas de dióxido de carbono.

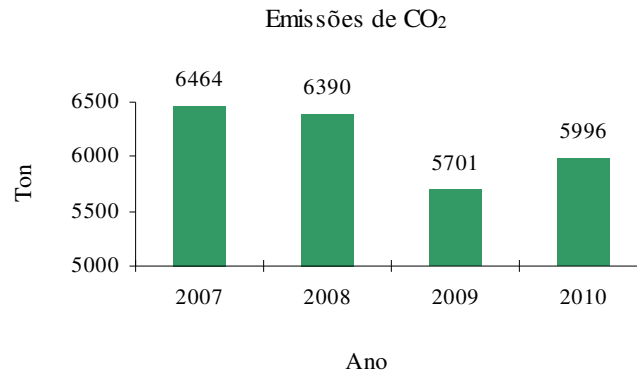
### ***b) Emissões atmosféricas***

A quase todas as actividades desenvolvidas na empresa estão associadas emissões atmosféricas. Dadas as metas impostas pelo Grupo Bosch em reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, é prioritário para a empresa a redução deste poluente.

A Bosch Termotecnologia possui actualmente 27 fontes pontuais de emissão para o exterior, sendo alvo de autocontrolo de acordo com o definido na legislação aplicável. Estas fontes estão associadas a instalações/equipamentos de soldadura, lavagem automática de peças, ensaios de produto, aquecimento fabril, pintura e secagem de painéis e aspiração de partículas de lã de rocha. As emissões atmosféricas associadas à utilização de gás



natural e gás propano, para a produção de energia térmica, representam uma grande parcela dos poluentes emitidos [10].



**Figura 7. Evolução das emissões de CO<sub>2</sub> na Bosch Termotecnologia, em 2010 [10].**

2010 foi um ano excelente em termos produtivos para a empresa mas, associado a este aumento, está também o aumento das emissões de dióxido de carbono para a atmosfera. Pelo gráfico da figura 7 verifica-se que houve um aumento nas emissões, aumento este que deve ser colmatado este ano, 2011, através da implementação de algumas medidas que visam a redução deste poluente atmosférico.

### *c) Auditoria Energética*

Ao longo desta dissertação far-se-á referência à última auditoria energética realizada na empresa, em 2005, que identifica os principais equipamentos consumidores de energia, bem como o planeamento de medidas de racionalização de energia e a poupança por elas alcançada. Alguns dos resultados constantes utilizados neste relatório foram extraídos dessa auditoria, os quais servirão para comparar com os resultados actuais obtidos.

## 2. OBJECTIVOS E MOTIVAÇÃO

Este trabalho surge no âmbito das políticas internas do Grupo *BOSCH*, rumo ao desenvolvimento sustentável. Com vista a uma maior eficiência energética e à redução das emissões de CO<sub>2</sub>, a Bosch propôs metas que permitem a redução das emissões de CO<sub>2</sub>, sendo estas contabilizadas em todos os processos de produção na Empresa Bosch. Deste modo, foram estabelecidos os seguintes objectivos:

- ✓ Redução das emissões relativas de CO<sub>2</sub> em 15% até 2012 (com base em 2007);
- ✓ Redução das emissões relativas de CO<sub>2</sub> em 25% até 2020 (com base em 2007).

As emissões relativas de CO<sub>2</sub> são definidas como o total de emissões de CO<sub>2</sub> relativamente à actividade interna, ou seja, à produção e aos custos organizacionais.

Deste modo, o trabalho tem os seguintes objectivos:

- ✓ Análise de equipamentos com elevados consumos e colaboração na definição de perfis de energia para cada um dos equipamentos considerados;
- ✓ Análise de consumos de ar comprimido, locais e utilizações, e colaboração na redução dos pontos de consumo de ar e optimização da rede;
- ✓ Desenvolvimento de campanhas de sensibilização relativas a eficiência energética e redução de CO<sub>2</sub>;
- ✓ Colaboração no seguimento e execução das acções definidas para redução de emissões de CO<sub>2</sub>.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A nível ambiental, a emissão excessiva de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), e de outros gases com efeito de estufa é uma das principais consequências da falta de eficiência no consumo de energia obtida da queima de combustíveis fósseis. De acordo com o Protocolo de Quioto, os países da UE – 15 comprometeram-se a reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em 8 % por comparação com os níveis de 1990. Caso as metas propostas não sejam atingidas até 2012, estes países poderão pagar coimas pesadas e o seu prestígio ambiental será diminuído.

A tabela 3 apresenta para os anos 2005 a 2008 o valor das emissões de CO<sub>2</sub> em Portugal. Neste período, observa-se que no país a quantidade de CO<sub>2</sub> libertado para a atmosfera diminuiu. Em 2007 as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) em Portugal foram estimadas em cerca de 81.8 Mton de CO<sub>2</sub>, encontrando-se 10.3 % acima da meta de Quioto. Já em 2008 Portugal encontrava-se 1.29 % acima do valor a atingir até 2012. Estes valores mostram que os esforços de Portugal para diminuir as emissões de CO<sub>2</sub> ainda estão longe de ter sucesso.

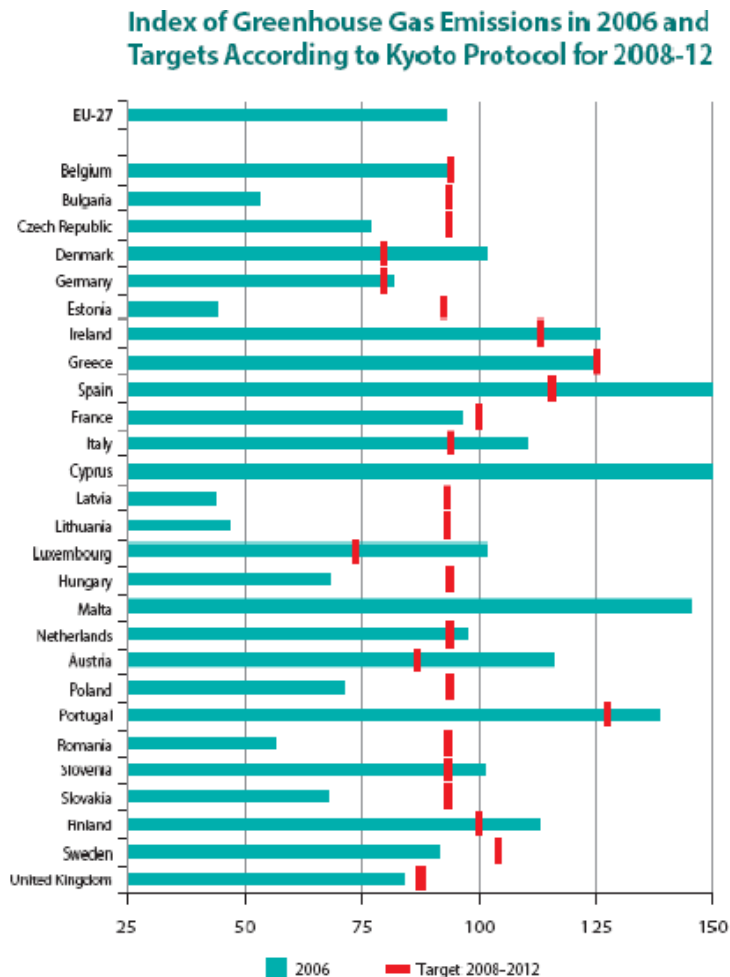
**Tabela 3. Valor das emissões de CO<sub>2</sub> em Portugal [7].**

	Emissões de CO <sub>2</sub> (Mton)					% acima da meta de Quioto (em 2008)
	2005	2006	2007	2008	Meta Quioto 2012	
<b>Portugal</b>	85.5	84.7	81.8	78.4	77.4	1.29

A provável continuação da divergência em relação às metas de Quioto para 2012 acarretará não só prejuízos ambientais em termos de aquecimento global do planeta, mas também prejuízos económicos para o país.

Os dados agora divulgados continuam a mostrar a dificuldade de Portugal em cumprir o Protocolo de Quioto, cuja meta de 27 % de aumento de emissões em relação a 1990 está já em vigor desde Janeiro de 2008 e tem que ser respeitada para o período 2008-2012 (fig. 8). Apesar das emissões de CO<sub>2</sub> per capita da EU-27 terem descido desde 1990, o País viu as suas emissões aumentarem em mais do que uma tonelada/capita entre 1990 e 2006. As

emissões de Chipre, Espanha, Malta, Portugal, Grécia, e Irlanda aumentaram mais de 20 % desde 1990 [25].



**Figura 8. Estado de cumprimento do Protocolo de Quioto na UE.**

No que diz respeito ao sector da energia, Portugal tem aumentado o seu consumo de energia primária assim como o consumo de energia eléctrica nos últimos anos, continuando a crescer acima da média europeia. Por conseguinte, o País encontra-se na necessidade de reduzir drasticamente a sua ineficiência energética, do lado da procura, dando atenção especial ao uso das tecnologias limpas e com menor custo de capital, de combustível, de operação e manutenção [26].

Em 2008 a dependência de Portugal em termos de importação de energia foi de 82 %. A produção interna baseou-se, exclusivamente, em fontes de energia renováveis, fundamentalmente hídrica e eólica. Esta produção cresceu 45 % desde 1990 [8].

O abastecimento de energia primária no nosso país também cresceu visivelmente desde 1990. Isto deve-se, sobretudo, ao aumento do abastecimento do petróleo (29 % desde 1990) e de combustíveis sólidos (31 % desde 1990).

O gás natural foi introduzido no abastecimento de energia primária de Portugal pela primeira vez em 1997, e atingiu os 17 % de quota de abastecimento total de energia em 2008. Em termos de fontes renováveis a quota foi de 18 %.

A nível internacional existem os seguintes compromissos até 2020:

- ✓ Redução do consumo de energia primária em 20 % (meta da eficiência energética);
- ✓ Aumento do recurso a energias renováveis para 20 % do mix europeu (meta indicativa para Portugal: 31 %);
- ✓ Incorporação de 20 % dos biocombustíveis nos carburantes.

Com base nos argumentos económicos e ambientais apresentados, existe a necessidade de poupar energia nos vários sectores da sociedade portuguesa e, para tal, são necessários esforços mais ambiciosos e dinâmicos em termos de promoção concreta da eficiência energética. De facto, a utilização mais eficiente da energia contribui para o crescimento económico e o desenvolvimento industrial, para a manutenção de um nível elevado de segurança no fornecimento energético e para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Processo produtivo

O processo produtivo da Bosch Termotecnologia é representado pelo diagrama da figura 9.

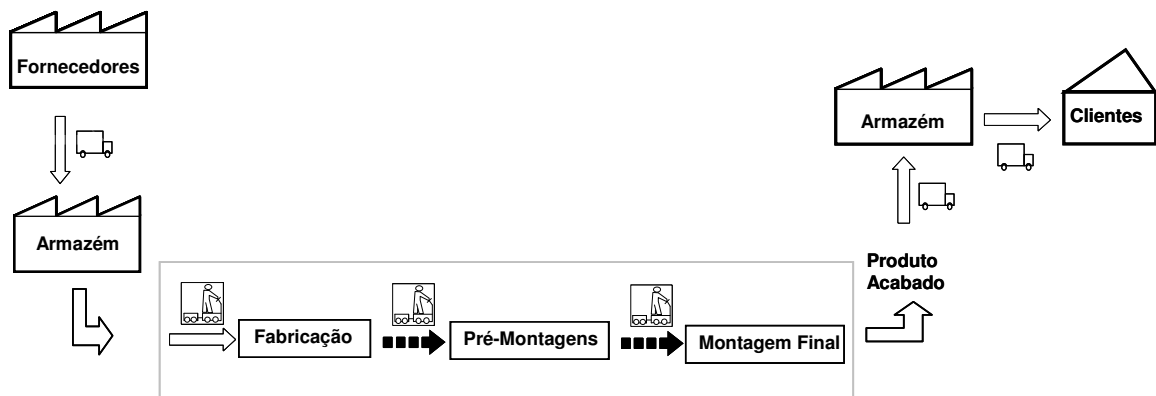


Figura 9. Representação esquemática do processo produtivo [24].

A produção de esquentadores ou caldeiras pode dividir-se em três fases, fabricação, pré-montagem e montagem final. Vejamos agora a descrição sumária dessas fases de produção.

#### **Fase 1: fabricação**

A fase de fabricação é a responsável pelo fabrico de peças para o esquentador e caldeira e inclui as secções principais que englobam os tubos de gás, os tubos de cobre, as câmaras de combustão, as prensas e a linha de pintura.

#### **Fase 2: pré-montagem**

Esta fase inclui as seguintes secções: queimadores, automáticos de gás e automáticos de água. Nestas, algumas peças produzidas nas secções de fabrico e outros componentes adquiridos são reunidos em conjuntos de acordo com especificações de produto. Todos estes conjuntos pré-montados são sujeitos a ensaios de funcionalidade e qualidade antes de serem fornecidos ao cliente interno seguinte: as secções de montagem final.

### **Fase 3: montagem final**

Esta última fase abrange secções que se encontram organizadas em células de montagem final. Estas células recebem componentes de fabrico, conjuntos pré-montados e componentes adquiridos a fornecedores externos, para que se proceda à montagem final do produto. Estas células são constituídas essencialmente por dispositivos de montagem, aparafusadoras pneumáticas, postos de ensaio final e embalagem. Todos os aparelhos são testados antes de embalados, sendo posteriormente armazenados no armazém de produto acabado antes do seu envio para o cliente final [24].

O processo produtivo é realizado na sua maioria em dois turnos, mas existem alguns processos que necessitam de três turnos de produção. Os turnos estão divididos do seguinte modo:

- ✓ Turno 1: das 06:00 às 13:30
- ✓ Turno 2: das 13:30 às 21:00
- ✓ Turno 3: das 21:00 às 04:30

### **4.2. Identificação dos grandes consumidores de energia**

Nas instalações da Bosch Termotecnologia são consumidos gás natural e gás propano, que provocam emissões directas de CO<sub>2</sub>, e electricidade, que é uma fonte indirecta de CO<sub>2</sub>.

Dada a complexidade de equipamentos na fábrica, para este estudo apenas foram considerados aqueles que provocam maior impacto na empresa em termos de consumo energético. São eles os fornos de soldadura n.º 3, 4 e 5, a linha de pintura e a central de ar comprimido, que serão caracterizados no ponto seguinte deste trabalho.

Para que este estudo fosse possível realizou-se uma pesquisa para obter os seus consumos energéticos. Esta pesquisa englobou o registo dos consumos nos contadores de energia, consumos instantâneos verificados em caudalímetros de gás que existem nos fornos (no caso dos fornos 3 e 5) e nas características técnicas dos equipamentos, tendo em conta a

potência dos mesmos e as horas de funcionamento. Este último modo de cálculo é o menos eficaz dada a variação do consumo dos equipamentos uma vez que estes quase sempre não trabalham na sua potência máxima. Mas como não existem contadores em todos os equipamentos este é único modo de obter o consumo de energia. Os resultados deste estudo podem ser consultados na tabela 4.

**Tabela 4. Equipamentos de maior consumo de energia, térmica e eléctrica, na empresa.**

Equipamento	Número de inventário	Secção	Tipo de energia	Potência (kW)	Consumo de energia (kWh/dia)			
					Eléctr.	GN	GPL	Total
Linha de pintura	887431	831	Eléctrica	191	2 358	8 966	-	11 324
			GN	320				
Forno de soldadura 3	885244/001	842	Eléctrica	190	3 607	2 411	-	6 018
			GN	86				
Forno de soldadura 5	886682/001	842	Eléctrica	190	3 750	-	2 112	5 862
			GPL	89				
Compressor 132 VSD	885491/004	473	Eléctrica	146	2 177	-	-	2 177
Forno de soldadura 4	887074/001	841	Eléctrica	95	908	1 164	-	2 072
			GN	41				
Compressor 75 VSD	0400000314	473	Eléctrica	75	961	-	-	961
Máquina SERI	887041/002	851	Eléctrica	80	696	-	-	696
Compressor 160 VSD	885492/003	473	Eléctrica	166	643	-	-	643
Máquina de expansão	885222/002	842	Eléctrica	15	330	-	-	330
Máquina de lavar Aquaclean	0100000277	841	Eléctrica	11.5	250	31.1	-	281.1
			GN	1.1				
Máquina de lavar Aquaclean	886898/001	853	Eléctrica	11.5	250	29.0	-	279
			GN	1.0				
Máquina de embalar – velha	0100000081	Solar	Eléctrica	55	226	-	-	226
Prensa Haulick 200 t	885013/005	822	Eléctrica	45	218	-	-	218
Máquina de lavar L3	885241/001	842	Eléctrica	6.5	156	38.4	-	194.4
			GN	1.4				
Máquina de embalar – nova	0100000652	Solar	Eléctrica	88	190	-	-	190
Máquina de soldar CC	887045/001	842	Eléctrica	100	150	-	-	150
Máquina de lavar UF	886558/001	842	Eléctrica	2.7	65	38.4	-	103.4
			GN	1.4				
Prensa Haulick 125 t	885864/007	822	Eléctrica	30	95	-	-	95
Prensa Haulick 125 t	885864/007	822	Eléctrica	30	95	-	-	95
Máquina fazer serpentinas	886941/001	842	Eléctrica	8	80	-	-	80
Mazak	887535/001	853	Eléctrica	45.6	80	-	-	80
Máquina soldar	885202/001	841	Eléctrica	48	72	-	-	72

O consumo térmico, gás natural (Nm<sup>3</sup>) e gás propano (kg), foi expresso em unidade de energia eléctrica (kWh) para que numa forma mais imediata se consiga fazer uma



comparação com o consumo de energia eléctrica do mesmo equipamento. Para isso, foram utilizados as seguintes razões:

11,875 kWh por m<sup>3</sup> de gás natural, valor médio obtido pelas facturas mensais de energia térmica consumida, de 2010 (*Galp energia*).

$$PCI_{GPL} = 11\,900 \text{ kcal/kg}$$

Para o cálculo da potência térmica dos vários equipamentos foram utilizados os factores de conversão do gás natural (GN) e do gás propano (GPL), assim como os consumos em Nm<sup>3</sup> dos equipamentos e o poder calorífico inferior (PCI) desses combustíveis, com base no Despacho 17313/2008 promulgado pelo Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia (SGCIE). Os valores utilizados para os cálculos são os seguintes [14]:

$$PCI_{GN} = 45.1 \text{ MJ/kg}$$

$$\text{Peso específico}_{GN} = 0.8404 \text{ kg/Nm}^3$$

$$PCI_{GPL} = 46.7 \text{ MJ/kg}$$

$$\text{Peso específico}_{GPL} = 1.966 \text{ kg/Nm}^3$$

Os consumos térmicos diários utilizados para os cálculos são os seguintes:

$$\text{Forno 3} = 197 \text{ Nm}^3$$

$$\text{Forno 4} = 95 \text{ Nm}^3$$

$$\text{Forno 5} = 160 \text{ kg} = 81.4 \text{ Nm}^3$$

$$\text{Linha de pintura} = 732 \text{ Nm}^3$$

$$\text{Máquina de lavar Aquaclean} = 2.54 \text{ Nm}^3$$

$$\text{Máquina de lavar Aquaclean} = 2.37 \text{ Nm}^3$$

$$\text{Máquina de Lavar modelo } L_3 = 3.13 \text{ Nm}^3$$

$$\text{Máquina de Lavar modelo UF} = 3.13 \text{ Nm}^3$$

Pela tabela 4 constata-se que os cinco grandes consumidores de energia na empresa são os três fornos, a linha de pintura e os compressores. A linha de pintura é por excelência o maior consumidor de gás natural, consumindo diariamente 732 Nm<sup>3</sup>. Por sua vez, o forno 5

é o maior consumidor de gás propano (GPL) na empresa, consumindo diariamente 160 kg deste combustível.

### **4.3. Apresentação dos cinco grandes consumidores de energia**

#### **4.3.1. Central de ar comprimido**

O ar comprimido é uma das componentes principais deste trabalho; através da sua produção, distribuição e consumo, ir-se-á traçar o seu perfil energético na fábrica de modo a identificar pontos de melhoria de eficiência energética, reduzindo as emissões de dióxido de carbono e os custos na factura de electricidade, dando continuidade às boas práticas ambientais adoptadas na Bosch. Estes pontos de melhoria passam pela identificação de fugas de ar comprimido e a sua contabilização, assim como as secções e/ou equipamentos mais afectados pelas fugas de ar.

Neste trabalho será feita uma abordagem geral do modo de funcionamento dos compressores ao longo de um dia de produção.

#### **4.3.2. Fornos de soldadura**

Relativamente aos três fornos de soldadura será feita uma caracterização de cada equipamento para dar a entender o seu funcionamento, desde o tipo de equipamento mecânico que opera em cada um deles até ao tipo de energia utilizado para que o mesmo equipamento opere. Foi feito um acompanhamento do consumo de energia nos fornos através de contadores e através de caudalímetros de gás.

#### **4.3.3. Linha de pintura electrostática**

Para este estudo foi feito um acompanhamento do consumo de energia térmica e eléctrica da linha de pintura através do contador de gás natural e eléctrico, respectivamente, de forma a traçar o seu perfil de energia.

## 5. CASO DE ESTUDO: BOSCH TERMOTECNOLOGIA

Neste ponto, será apresentada toda a informação relativa a equipamentos que caracterizam a empresa em termos de consumos energéticos, levantamentos que foram realizados na empresa, entre outros.

De acordo com a tabela 4, para além dos fornos, da linha de pintura e dos compressores, outros equipamentos revelam também alguma importância em termos de consumo de energia eléctrica e térmica. De acordo o estudo efectuado, constatou-se que a máquina *Seri* maquinação, a *Mazak*, a máquina de expansão, as máquinas de lavar peças/tubos, as prensas *Haulic* (de 125 e 200 toneladas), as máquinas nova e velha de embalar colectores, as máquinas de soldar e a máquina de fazer serpentinas são os equipamentos que mais contribuem para o aumento da factura energética da empresa.

### 5.1. Caracterização das actividades fabris

#### 5.1.1. Central de ar comprimido

A central de ar comprimido situa-se num compartimento isolado, na secção 473, e integra os seguintes equipamentos:

1. Quatro compressores de parafuso (sendo 3 deles de velocidade variável), instalados em paralelo, cujas características principais estão reunidas na tabela 4.

Tabela 5. Características dos compressores.

N.º	Marca	Modelo	Pressão máxima (bar)	Potência instalada (kW)
0	Atlas Copco	GA 18 VSD	12.8	18,5
1	Atlas Copco	GA 75 VSD	13.0	75
2	Atlas Copco	GA 132 VSD	13.8	146
3	Atlas Copco	GA 160	7.5	166

2. Um secador de ar por refrigeração, *Atlas Copco*, modelo FD 760 VSD (3 kW) e vários filtros;
3. Um depósito vertical com uma capacidade de 4 m<sup>3</sup>.

Diariamente procede-se à leitura das horas de funcionamento dos compressores, apresentando-se na tabela seguinte o resumo anual, referente a 2010.

**Tabela 6. Número total de horas de trabalho dos compressores.**

2010	Compressores			
	0	1	2	3
	Horas totais	Horas totais	Horas totais	Horas totais
<b>Total</b>	213	2 199	4 525	1 069

A análise à tabela 6 permite confirmar que o consumo base é assegurado pelo compressor 2, seguindo-se o compressor 1.

Os compressores produzem o ar a uma pressão máxima de 13.8 bar e, após filtragem e secagem, o ar comprimido é distribuído ao anel da nave fabril, existindo ainda dois ramais exteriores, sendo um para a zona de armazéns e o outro para a ETAR.

### 5.1.2. Fornos de soldadura

A estrutura energética da Bosch continua a assentar, em grande medida, na electricidade e, em menor grau, nos gases combustíveis (gás natural e gás propano); as razões para a utilização do gás propano (de maior custo do que o gás natural), continuam a assentar no facto de alguns equipamentos continuarem a não ser reconvertíveis, como é o caso do forno n.º 5, e também à necessidade de consumi-lo em vários testes e ensaios.

#### Fornos n.º 3 e 5

Os fornos 3 e 5, ambos situados na secção 842, fazem parte do final do processo contínuo de fabrico das câmaras de combustão. Concluída a montagem das câmaras de combustão, estas são colocadas nos gabaris dos fornos de soldadura 3 e 5, sendo-lhes aplicadas soldas.

O forno 3 é um forno simples, do tipo túnel, de cinta ou passadeira. O seu aquecimento é eléctrico, dispondo de vários grupos de resistências para este efeito, com uma potência global da ordem dos 190 kW. A sua laboração é em atmosfera redutora, produzida com queima de gás natural.

A temperatura de trabalho destes fornos é da ordem dos 900° C, sendo reduzida para 750°C durante o fim-de-semana; em caso de paragens mais prologadas (férias, Natal, etc.), estes são mantidos a uma temperatura de 150°C, para evitar problemas associados à infiltração de humidade.

Por sua vez, o forno 5 (linha *Sirmaf*), também do tipo túnel e de cinta ou passadeira, é um forno duplo (dois túneis paralelos), com circulação das câmaras em contracorrente e uma potência nominal de 190 kW. A sua laboração é em atmosfera redutora produzida com queima de gás propano.

A cada forno está associado um contador eléctrico mas, contudo, ambos continuam sem dispor de qualquer contador de gás (medida prevista na Auditoria de Energia de 2005 mas que acabou por não ser concretizada). Os consumos de gás são obtidos a partir das leituras efectuadas diariamente aos caudalímetros de gás; em cada início de turno o chefe de secção regista o consumo instantâneo de gás, efectuando 2 registos para o forno n.º 5 (2 turnos) e 3 registos para o forno n.º 3 (3 turnos).

A água de refrigeração das zonas de arrefecimento dos fornos (em circuito fechado) é recolhida por gravidade num tanque inferior, sendo depois bombeada para as torres de arrefecimento que se encontram no exterior da fábrica (fig. 10).



**Figura 10. Torres de refrigeração para tratamento da água dos fornos 3, 4 e 5.**

Neste circuito de retorno encontram-se ainda intercalados dois permutadores que recuperam parte da energia dessa água, sendo um para pré-aquecer a água da climatização do edifício administrativo AV200, e o outro para pré-aquecimento das águas quentes sanitárias dos balneários, cozinha e bar. Complementarmente, como se referiu, parte da

água de arrefecimento do forno 3, passa ainda noutro permutador, onde cede alguma energia à água de adição das máquinas de lavar. O sistema de refrigeração exterior integra duas pequenas torres de arrefecimento atmosféricas, duas bombas ( $2 \times 3 \text{ kW}$ ), e um tanque inferior. A água proveniente dos fornos é descarregada directamente na torre 1, sendo recolhida no tanque inferior, após o que é enviada pela bomba de 3 kW, de novo para os fornos; quando esta torre não é suficiente para baixar a temperatura da água para o valor pretendido, a outra bomba promove a circulação de água através da segunda torre. Todo o sistema dispõe de controlo termostático, laborando em boas condições.

#### Forno n.º 4

O forno 4, situado na secção 841, faz parte do sector de fabricação de tubos de gás. Nesta secção estão instaladas pequenas máquinas de dobrar e cortar tubo de aço, máquinas de furar, prensas excêntricas, entre outras, sendo, na sua generalidade, equipamentos de potência eléctrica reduzida. Após o corte e dobragem do tubo, procede-se à fixação da chapa de suporte (proveniente de outra secção de trabalho), operação realizada numa pequena máquina de soldadura por pontos; na fase seguinte são aplicados acessórios e soldas nos tubos, passando então os mesmos ao forno de soldadura.

Este forno de soldadura é um forno contínuo de passadeira, de marca *Mahler*, sendo aquecido por três grupos de resistências eléctricas, com uma potência total de 90 kW, e com atmosfera redutora produzida através da queima de gás natural.

A temperatura de trabalho deste forno é de  $1100^\circ \text{C}$ , sendo reduzida para  $900^\circ \text{C}$  durante o fim-de-semana (temperatura de manutenção), desligando-se simultaneamente a queima de gás; em caso de paragens mais prologadas (férias, Natal, etc.), é mantido a uma temperatura de  $150^\circ \text{C}$ , para evitar problemas associados à infiltração de humidade.

A parte final do forno é uma zona de arrefecimento controlado promovido por água refrigerada, proveniente do circuito de refrigeração dos três fornos existentes. Concluída a soldadura no forno, o material é sujeito a uma desempenagem e furação numa pequena prensa sendo posteriormente enviado para uma entidade exterior, para ser sujeito a uma operação de niquelagem, retornando depois à Empresa, para as linhas de montagem.

### 5.1.3. Linha de pintura electroestática

Associada à linha de pintura está a fabricação de frentes dos esquentadores e caldeiras, a partir de chapa de aço. Depois das operações de estampagem, quinagem, corte, dobragem, etc., as frentes são inspeccionadas, sendo posteriormente colocadas nos suportes do transportador aéreo da linha de pintura electroestática, que as transporta ao longo das várias fases do processo; a velocidade normal de trabalho é de 3 m/min.

Esta linha de pintura labora em contínuo, num regime de carga elevado, sendo um importante consumidor quer de gás natural, quer de energia eléctrica. A potência eléctrica e térmica instalada é de 191 kW e 320 kW, respectivamente, estando maioritariamente associada a bombas e ventiladores. A linha é basicamente composta por três túneis (lavagem, secagem e polimerização) e uma cabina de pintura electroestática, com as seguintes características principais:

- ✓ Túnel de lavagem do material, por pulverização do banho, com 4 zonas, onde ocorrem as seguintes operações:
  - Pré-lavagem e fosfatação ( $50^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ );
  - Lavagem e fosfatação ( $50^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ );
  - Lavagem à temperatura ambiente;
  - Lavagem à temperatura ambiente com água desmineralizada.

A circulação e pulverização do banho são asseguradas por grupos de bombagem duplos ( $2 \times 11 \text{ kW}$  e  $2 \times 7,5 \text{ kW}$ ), laborando apenas uma bomba em cada grupo.

Os banhos quentes são aquecidos de forma indirecta no respectivo tanque através dos gases de combustão de dois queimadores *Lamborghini* EM26, a gás natural, com uma potência térmica unitária de 250 kW.

- ✓ Túnel de secagem, com uma temperatura de trabalho de  $130^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ , com ar quente recirculado (16 recirculadores de 1,1 kW), que é aquecido em câmaras de permuta, com gases de combustão e com queimadores de gás natural; o túnel

divide-se em três zonas, dispondo cada uma dum queimador *Lamborghini* EM16, de 160 kW;

- ✓ Cabina de pintura electroestática com quatro robots de pintura, cada um com três pistolas de pó. Para reaproveitamento do pó excedente, a cabina dispõe também de ciclone e filtro de mangas.

Associado à cabina está também instalado um pequeno gerador de ar quente, do tipo termobloco, com ventilador incorporado, que faz a pressurização do ar da cabina. Este gerador está também equipado com um queimador *Lamborghini* EM9, a gás natural, com 90 kW de potência térmica, o qual, no entanto, nunca é utilizado, pois a temperatura ambiente no local não vem normalmente abaixo do valor pretendido.

- ✓ Túnel de polimerização ( $t_{\text{máxima}} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), de duas passagens, que se divide em quatro zonas, a primeira das quais aquecida por 16 painéis catalíticos, com uma potência unitária de 8 kW.

Cada uma das restantes três zonas dispõe dum queimador *Lamborghini* EM26, a gás natural, cujos gases de combustão aquecem o ar do túnel; a recirculação do ar é assegurada também por 16 ventiladores de 1,1 kW.

Revelando preocupação ambiental, os gases de combustão dos vários queimadores da linha, são recolhidos numa conduta e passam depois através de filtros de mangas, antes de serem enviados para o exterior.

## 5.2. Ar comprimido

### Legislação aplicável

Não há muita legislação aplicável ao ar comprimido; o Despacho n.º 1859/2003 (2.ª série), de 30 de Janeiro, aprova a instrução técnica complementar para recipientes sob pressão de ar comprimido. As obrigações que este Despacho impõe são as seguintes:

- ✓ Cumprir as regras gerais aplicáveis a recipientes sob pressão de ar comprimido;



- ✓ Realização de inspecções periódicas com periodicidade de 2.5 anos;
- ✓ As inspecções intercalares incluem:
  - a) Inspecção interior;
  - b) Realização de outros ensaios, caso se justifique;
  - c) Inspecção à instalação;
  - d) Verificação do bom funcionamento dos órgãos de segurança.

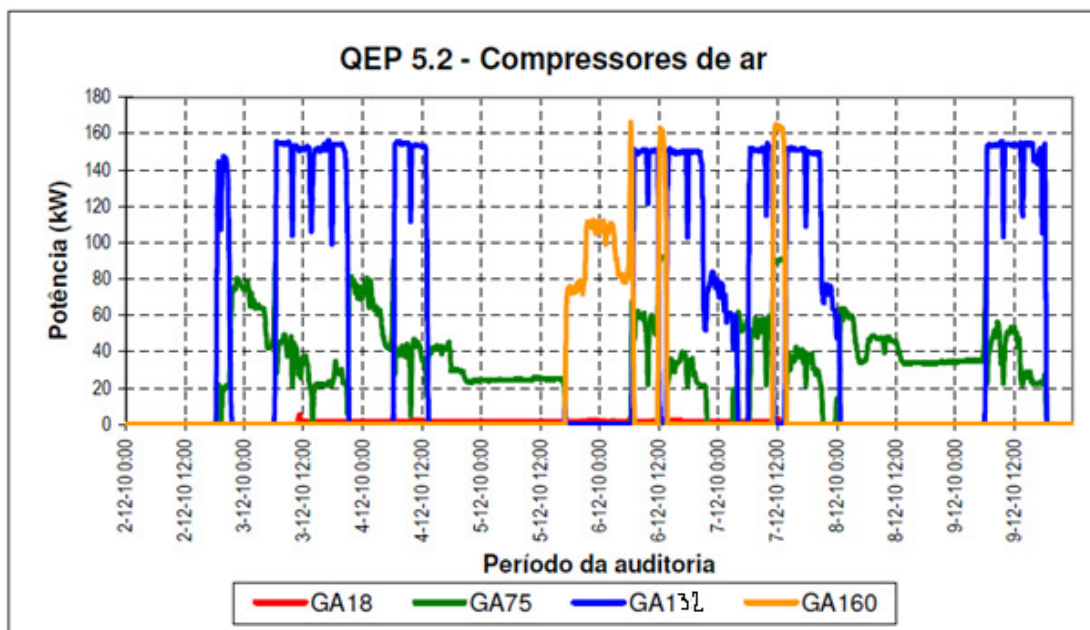
### 5.2.1. Abordagem geral

O ar comprimido é um elemento muito comum em todos os tipos de equipamentos industriais, com uma produção e controlo relativamente fácil e seguro [12].

São muitas e variadas as utilizações de ar comprimido na Bosch Termotecnologia. Por isso, é necessária a contínua produção desta forma de energia que, de um modo prático, fácil e seguro, se adequa ao sistema de produção e operação da empresa. O ar comprimido é, de uma forma geral, utilizado em toda a fábrica: em instrumentação e accionamentos vários, sendo os principais utilizadores a linha de pintura (pistolagem, transporte e recuperação do pó), máquinas-ferramentas variadas (aparafusadoras, pistolas, agrafadoras, entre outras), dispositivos pneumáticos, prensas, a ETAR (bombas pneumáticas e testes de fiabilidade), e em testes e ensaios de aparelhos.

A central de ar comprimido labora em contínuo e o controlo dos compressores é realizado por um autómato *Siemens*, que coloca ou tira unidades em funcionamento, em função do patamar de consumo de ar que se vai registando na instalação.

O gráfico da figura seguinte ilustra o modo de funcionamento dos quatro compressores que abastecem de ar comprimido toda a empresa.



**Figura 11. Modo de funcionamento dos compressores durante a semana 2 a 9 de Dezembro de 2010.**

Como se pode verificar pela figura 11, é o compressor n.º 2 (GA 132), de velocidade variável, que mais trabalha nos períodos de maior consumo de ar comprimido, ou seja, nos dois turnos de trabalho (das 06h às 21h). Geralmente não trabalha nem à noite (das 21h às 06h) nem aos fins-de-semana ou feriados.

Aos fins-de-semana, feriados e à noite, alturas em que os consumos de ar são mínimos, é o compressor n.º 1 (GA 75) que assegura as necessidades de ar, pois é a unidade mais eficiente e que melhor se adapta às flutuações de consumo.

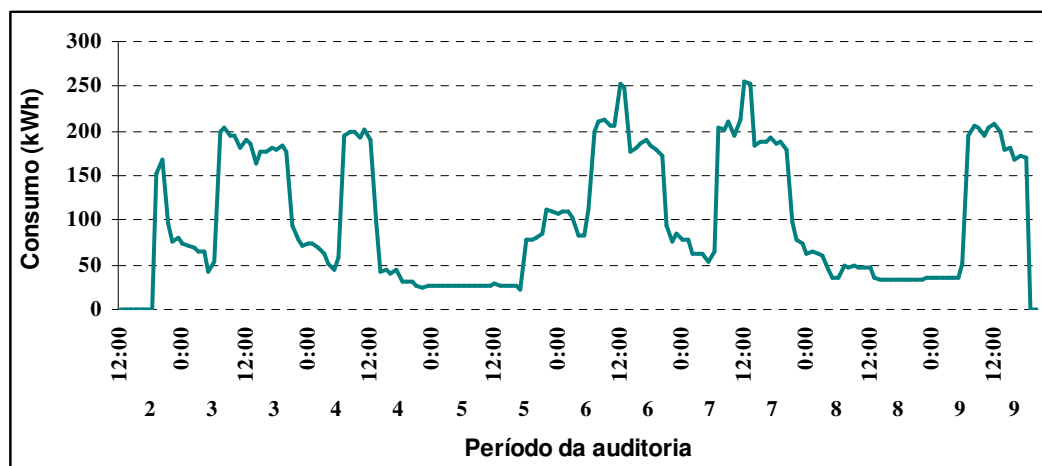
O compressor n.º 3 (GA 160) geralmente só trabalha em complemento com o compressor 2, especificamente no arranque após paragens prolongadas; isto acontece aos Domingos à tarde, hora em que o compressor arranca para começar a produzir ar para o início da semana.

Por último, o compressor n.º 0 (GA 18) é não só o que menos trabalha como também o que menos consome. Este compressor apenas trabalha quando o compressor 1 deixa de produzir ar.

O ar comprimido possui algumas vantagens, como sendo um vector de transporte e armazenamento de energia, uma fonte de energia segura e uma energia limpa (não existe risco de poluição associado à sua utilização directa) [15]. Para além disso, o sistema comporta custos de instalação e de manutenção relativamente baixos.

Por outro lado, existem também desvantagens associadas à utilização de ar comprimido, entre as quais de destacam o seu custo elevado, pois trata-se de uma das formas de energia mais caras; o ruído associado à sua utilização; a utilização de óleo em equipamentos como pistolas, aparafusadoras, entre outras, que requer a utilização de óleo lubrificante, tornando-se desagradável para o operador. Por último e talvez mais importante, a sua produção não corresponde à sua utilização devido ao desperdício de ar através de fugas de ar comprimido.

O gráfico da figura seguinte resulta das medições de consumo efectuadas em simultâneo aos quatro compressores durante a primeira semana de Dezembro de 2010 (de acordo com a Auditoria de energia efectuada).



**Figura 12.** Diagrama de carga de energia eléctrica dos compressores associado à semana de 2 a 9 de Dezembro de 2010.

Pelo diagrama de carga da figura 12, verifica-se que a central de ar comprimido regista uma carga elevada nos turnos principais (das 06h às 21h), com uma produção de ar comprimido que, em períodos de produção normal ronda os 3 418 kWh por dia (com consumo horário entre 170 e 220 kWh). Por outro lado, aos fins-de-semana e feriados, alturas em que a fábrica está parada, o consumo horário de ar comprimido é mais baixo,

cerca de 40 kWh aos fins-de-semana e feriados (como se constata no dia 8 de Dezembro) e oscila entre 60 e 80 kWh no turno da noite (das 21h às 04h30h). Contudo, no período nocturno, das 04h30 às 06h, altura em que não há produção, o consumo é ainda elevado, variando entre 40 e 60 kWh. Isto deve-se sobretudo às fugas de ar comprimido.

Num fim-de-semana, os compressores chegam a consumir 1 046 kWh. Isto deve-se sobretudo ao arranque das máquinas no Domingo ao final da tarde e também às fugas de ar comprimido que existem na fábrica e que causam um grande impacte no consumo de energia.

Com base nos registos históricos do contador, verifica-se que esta área absorveu, em 2010, 1 043 MWh, equivalente a cerca de 11.6 % do total geral (8 971 MWh), montante muito relevante, a justificar a necessidade de implantação de novas medidas de optimização de utilização de ar comprimido. Esta necessidade reflecte-se no ligeiro aumento de consumo de ar comprimido relativamente ao ano 2009. Contudo, apesar de o consumo global de electricidade nesse ano ter sido menor, cerca de 8 484 MWh, o consumo de ar comprimido foi inferior a 2010, consumindo cerca de 1 026 MWh. Em termos percentuais, face a essa diminuição do consumo global nesse ano, o ar comprimido correspondeu a 12.1 % do consumo anual, mais 0.5 % face a 2010.

### **5.2.2. Fugas de ar comprimido**

De todas as medidas conducentes a poupanças energéticas, a redução de fugas de ar comprimido é, de longe, a medida mais importante, sendo aplicável a quase todos os sistemas de ar comprimido. Elas constituem o principal problema de desperdício de energia que as empresas utilizadoras desta forma de energia enfrentam. A Bosch Termotecnologia não é excepção e como tal foi dada especial atenção a este assunto.

As fugas de ar comprimido podem representar 15 a 50 % do custo total de produção de ar comprimido [6, 16]. Uma manutenção eficiente e inspecções periódicas permitem reduzir este valor para 5 a 10 %. A maior parte dos utilizadores de ar comprimido é pouco sensível

à importância de um programa regular de detecção de fugas, em parte porque as fugas são invisíveis e porque geralmente não provocam danos.

De forma a quantificar o desperdício de energia através de fugas de ar foram seguidos dois procedimentos: primeiro, levantamento e contabilização de fugas; segundo, leitura do controlador de ar comprimido num dia sem produção, ou seja, com a fábrica parada.

### Levantamento e contabilização de fugas

Primeiramente foi feita uma contabilização de fugas através do ruído que elas provocam, ou seja, o barulho que o ar fazia ao escapar para o exterior. Para tal, aproveitou-se um dia em que a fábrica esteve totalmente parada, sem produção e fez-se um levantamento em praticamente todos os equipamentos pneumáticos na fábrica registando a ocorrência de fuga e a sua identificação e localização: dimensão aproximada da fuga, em que secção/linha se encontrava, em que equipamento e a localização no próprio equipamento – mangueira furada, UTA's (fig. 13), cilindro, roscas mal apertadas (fig. 14), entre outras situações (fig. 15).

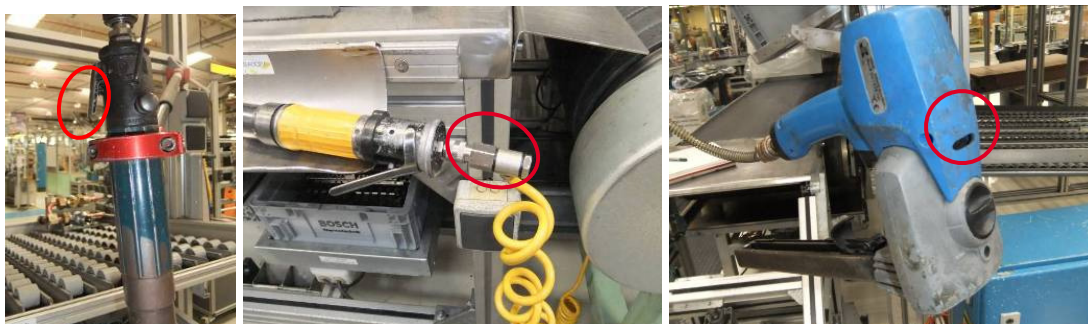


**Figura 13. Fugas nas UTA's.**

As fugas em equipamentos como as UTA's ou em uniões entre aparafusadoras ou mangueiras afectam o seu funcionamento. Para além do aumento de consumo afectam a produção e encurtam a vida do equipamento, levando a que este necessite de manutenção frequente [17].

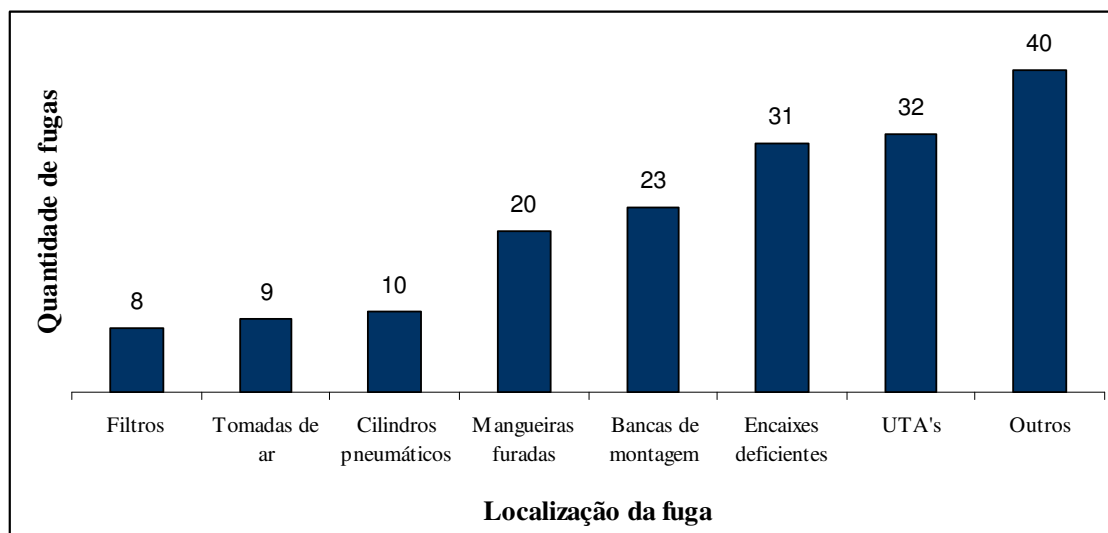


**Figura 14. Encaixes de mangueiras com fugas, assinaladas com um círculo.**



**Figura 15. Fugas numa aparafusadora (imagens da esquerda) e numa rebitadora (imagem da direita)**

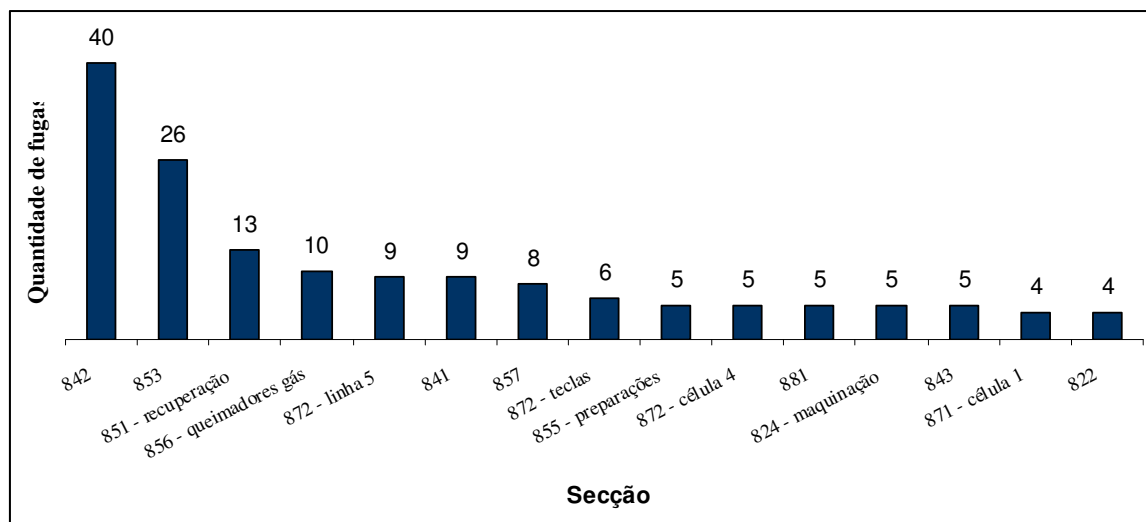
Num primeiro levantamento efectuado a toda a fábrica, incluindo a secção de produção de painéis solares, foram encontradas 176 fugas de ar comprimido. A tabela seguinte indica a origem mais característica das fugas encontradas na empresa:



**Figura 16. Localização mais comum das fugas de ar comprimido na Bosch Termotecnologia.**

O gráfico da figura 16 mostra que as fugas aparecem maioritariamente nas unidades de tratamento de ar – UTA's (através de copos partidos, roscas mal apertadas, principalmente)

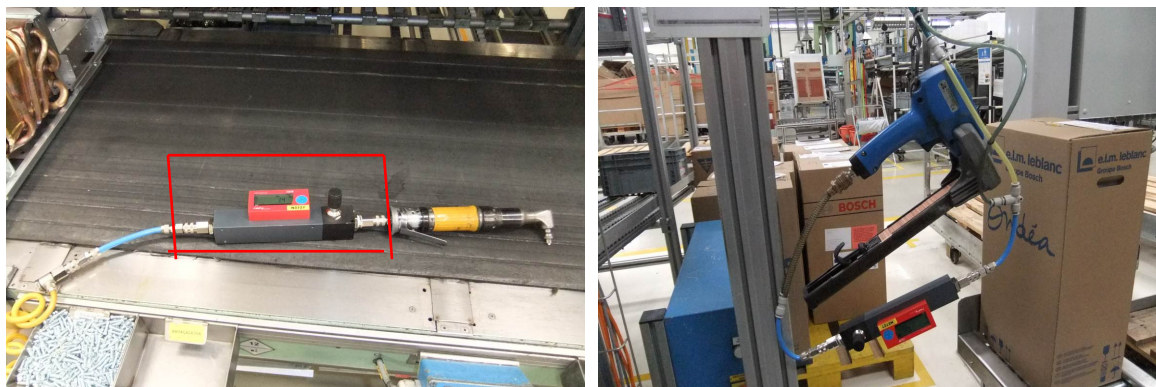
e nos encaixes deficientes entre mangueiras e acessórios; estes últimos devem-se sobretudo a mangueiras velhas e ressequidas muito susceptíveis à ocorrência de fugas. Também as mangueiras furadas são uma situação muito corrente na empresa, assim como acessórios com fuga nas bancas de ensaio. A categoria “outros” representa uma série de situações como fugas em equipamentos de estanquicidade, passadeiras dos fornos, diferentes máquinas, como a CNC ou a de fazer flautas, entre outras situações.



**Figura 17. Secções mais relevantes em matéria de fugas de ar comprimido.**

Também com este trabalho foi possível classificar as secções quanto à presença de fugas de ar. O gráfico da figura 17 mostra que foi na secção 842 seguida da secção 853 onde foi localizada a maior quantidade de fugas, precisamente nas duas maiores secções da fábrica. Depois deste levantamento de fugas, foram escolhidos algumas delas, as que à partida debitavam mais ar, e procedeu-se à sua quantificação através de um caudalímetro de ar, exemplificado na figura 18.





**Figura 18.** Medições de caudal de fugas de ar comprimido utilizando o caudalímetro de ar (assinalado com um rectângulo vermelho).

Os resultados encontram-se na tabela seguinte.

**Tabela 7. Identificação e contabilização de fugas de ar comprimido**

Fuga/ descrição	Secção/ posto	Caudal de ar (l/min)	Consumo de energia (kWh/ano)	Custos (€/ano)	Emissões de CO <sub>2</sub> (kg/ano)
Abertura da agraphadora	S871, célula 3	4.7	64.6	6.0	27.0
Fissura na mangueira da aparafusadora	S871, célula 1, p.5	6.0	276.9	25.8	115.0
Encaixe entre a rebitadora e a mangueira	S872, linha 5, p.11	3.6	166.2	15.5	69.0
UTA	S856 – queimadores de gás, p.82	4.0	184.6	17.2	77.0
ATEQ	S872, linha 5, p.21	38.2	1 763.2	164.0	734.0
Filtro da aparafusadora	S872, célula 4, p.7	10.5	484.6	45.1	202.0
UTA	S856, p.16	7.5	346.2	32.2	144.0

As fugas descritas na tabela acima apresentada representam as situações mais vulgares de ocorrência de fugas de ar comprimido verificadas na empresa. O ATEQ será tratado em pormenor na medida 4 deste trabalho. Foram encontradas situações muito problemáticas de fugas de ar na fábrica mas, dada a sua gravidade, imediatamente se fizeram pedidos de intervenção para que as mesmas fossem reparadas com a maior brevidade possível. Destaco para uma em particular, ilustrada na figura 19, cujo caudal não foi possível quantificar porque ultrapassava o limite do caudalímetro (100 l/min).





**Figura 19. Fuga de ar, assinalada a vermelho, numa mangueira numa prensa *Haulick B*, S822.**

Olhando para os números da tabela 7 quase que se atreve a dizer que 6 ou 45 euros por ano é insignificante para uma empresa como a *Bosch*. No entanto, existem centenas de fugas e muito certamente haverá outras em situações como a exemplificada, com um caudal exorbitante e que é desperdiçado.

Existem outras maneiras de calcular as fugas de ar, sabendo o seu diâmetro, a pressão da rede, o custo do metro cúbico ou do quilowatt hora e o período de fuga. A figura 20 retrata um exemplo de uma fuga, existente no encaixe entre a rebitadora e a mangueira, que foi contabilizada através desse método.

**Programa para el cálculo de FUGA / Vacío / SOPLADO**

Presión (bar)	6,0
Diámetro del orificio (mm)	2,0
Coste del aire (€/Nm3)	0,012
Horas fuga/día	24
Días fuga/año	1

Fugas	Nl/min	Nm3/hora	Nm3/año	€/hora	€/día	€/año
	224	13,4	322,8	0,16	3,87	4

Solo rellenar los campos en: VERDE

**Figura 20. Calculador de fugas de ar, disponível no website na “smc” [18].**

A tabela 8 apresenta o resultado comparativo entre estes dois métodos de calcular as fugas de ar comprimido.

**Tabela 8. Comparação do valor de fugas obtido através do caudalímetro com o cálculo através de um calculador de fugas.**

Fuga/ descrição	Valor obtido através de:	Caudal de ar (l/min)	Consumo de energia (kWh/dia)	Custos (€/dia)	Emissões de CO <sub>2</sub> (kg/dia)
<b>Encaixe entre a rebitadora e a mangueira</b>	Caudalímetro	3.6	0.7	0.07	0.3
	Calculador de fugas	-	42.8	3.9	18.0
<b>ATEQ</b>	Caudalímetro	38.2	7.3	0.7	3.0
	Calculador de fugas	-	724.3	65.4	302

Como se pode verificar através da tabela 8, os resultados obtidos são muito diferentes. O calculador de fugas apresenta valores muito elevados comparando com os medidos através do caudalímetro. Não se sabe ao certo as condições que estão na base de cálculo do calculador mas, no entanto, é um método útil para ter uma noção significativa de uma fuga de ar, embora sabendo que não se deveria tratar de todas as fugas como um caso linear. Por outro lado, para estudos mais pormenorizados e exigentes, o caudalímetro de ar é o método mais adequado, pois adapta-se a cada situação. É, embora, o método mais moroso; é mais fácil verificar o diâmetro de uma fuga e colocar os dados no calculador do que trabalhar com o caudalímetro. Este exige tempo, disponibilidade do aparelho e disponibilidade do equipamento que contém a fuga que se pretende medir (a secção ou linha deve estar parada).

As 176 fugas encontradas foram quantificadas generalizando os valores de caudal obtidos. Assim, a todas as fugas encontradas nas UTA's (unidades de tratamento de ar) considerou-se o caudal de 7.5 l/min; às existentes nos encaixes de mangueiras atribuiu-se o caudal de 6.0 l/min; nos acessórios (como electróvalvulas) um caudal de 4.0 l/min; às fugas encontradas pelos mecânicos considerou-se que tinham um caudal de 10.5 l/min. Estas 176 fugas totalizaram um caudal de 2 089.7 litros por minuto o que diariamente e anualmente representam os seguintes números:

**Tabela 9. Quantificação das 176 fugas encontradas na empresa.**

Período	Consumo de ar (m <sup>3</sup> )	Consumo de energia (kWh)	Custos (€)	Emissões de CO <sub>2</sub> (tonelada)
Diário	3 009.2	400.2	37.2	0.167
Anual	1 098 346.3	146 080.1	13 585.5	60.8

Para a realização deste estudo considerou-se o pior cenário, pois é o que está mais próximo da realidade, considerando que as válvulas de seccionamento estão abertas 24 horas por dia e 365 dias por ano. Foi verificado que quase sempre as secções não são desligadas aos fins-de-semana, o que foi confirmado com os mecânicos que trabalham aos fins-de-semana. Os valores obtidos na tabela 9 demonstram o grande problema das fugas de ar; o consumo diário de energia que estas representam (400.2 kWh), é superior ao consumo de energia do compressor 160 VSD (333.0 kWh), como se verifica na tabela 4. Isto significa que este compressor, sozinho, não consegue produzir energia suficiente para alimentar estas fugas de ar comprimido.

Não foi possível quantificar mais fugas do que aquelas representadas na tabela 7 devido às exigências associadas, isto é, é necessário que o caudalímetro de ar esteja disponível, que haja também um mecânico disponível para auxiliar o trabalho e, principalmente, que a linha de produção não esteja a trabalhar. Conjuguar estes três requisitos foi uma tarefa muito difícil mas ainda assim conseguiu-se ter uma aproximação do quanto pode causar uma fuga nestas diferentes situações.

Dado que em 2010 se consumiu na empresa 1 043 MWh associados à energia sob a forma de ar comprimido, o consumo de energia associado às fugas, registado na tabela 8, representa cerca de 10 % do consumo total. De acordo com o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia, este valor é perfeitamente aceitável pois afirma que perto de 20 % da energia consumida numa indústria é perdida devido a fugas de ar [6].

Este procedimento não é a via mais fiável para contabilizar as uma vez que estas não só estão constantemente a aparecer como outras vão sendo reparadas e, principalmente, porque a maioria não é detectável tão facilmente como se desejaria.

### **Leitura do controlador de ar comprimido**

O segundo procedimento para contabilizar as fugas consistiu não em detectar fuga a fuga mas, aproveitando igualmente um dia de paragem total da fábrica, de registar a produção de ar comprimido nesse dia. Assim, sem produção e com as válvulas de seccionamento

abertas em todas as secções, fez-se a leitura do consumo de ar comprimido durante cinco minutos, através de um contador que regista a sua produção instantânea, em litros por segundo, instalado na central dos compressores.

Este trabalho teve inúmeras dificuldades mas mesmo assim foram conseguidos resultados muito interessantes.

Essa ocasião aconteceu no dia 2 de Julho, dia da festa da Bosch (*Experience day*). A maioria das secções encontrava-se com as válvulas de seccionamento de ar comprimido ligadas; as que não estavam abriram-se-lhes as válvulas (não foi possível abrir a válvula das secções da pintura, linha 8 e solar).

Depois de ligado, fez-se a leitura de consumo de ar comprimido através do contador de ar comprimido já anteriormente referido. Durante cinco minutos, como seria de esperar, o consumo foi praticamente constante e o seu caudal foi de 113 l/s. Este valor representa todo o tipo de desperdícios de energia na empresa associado ao consumo de ar comprimido, dado que nenhum equipamento estava a funcionar. Como exemplo temos os ATEQ's, as rebitadoras e principalmente as fugas de ar comprimido. Aos 113 l/s retirou-se os consumos dos ATEQ's e das rebitadoras (medida 4 e 1, respectivamente, do ponto 7 deste trabalho). Os resultados encontram-se na tabela seguinte.

**Tabela 10. Desperdício de energia na empresa associado a fugas de ar comprimido.**

Situação a alterar de carácter urgente	Período	Consumo de ar (m <sup>3</sup> )	Consumo de energia (kWh)	Custos (€)	Emissões de CO <sub>2</sub> (ton)
<b>Fugas</b>	Diário	6 885.0	912.2	84.9	0.4
	Anual	2 865 222.4	380 667.2	35 407.9	158.6
<b>Rebitadoras</b>	Diário	2 480.6	331.2	30.8	0.1
	Anual	597 704.0	80 008.2	7 440.8	33.3
<b>ATEQ's</b>	Diário	417.6	55.1	5.1	0.02
	Anual	100 641.6	13 279.1	1 229.1	5.5
<i>Total</i>	<i>Diário</i>	<i>9 763.2</i>	<i>1 298.5</i>	<i>120.8</i>	<i>0.5</i>
	<i>Anual</i>	<i>3 563 568.0</i>	<i>473 954.5</i>	<i>44 077.8</i>	<i>197.4</i>

Como se pode verificar na tabela 10, as perdas de energia representam valores absolutamente estrondosos. Comparando com a tabela 6, tanto o consumo total de energia diária desperdiçada (1 298.5 kWh) como apenas o consumo das fugas (912.2 kWh) é

superior ao consumo diário do forno de soldadura n.º 4 (908 kWh), simplesmente o quinto maior consumidor da empresa.

Por outro lado, estes desperdícios de energia traduzem-se em custos elevados e desnecessários para a empresa e severos para o ambiente, com a emissão de mais de 197 toneladas de dióxido de carbono.

Para ter uma noção desta dimensão económica, o montante desperdiçado anualmente, 35 407.9 euros, daria para suportar o ordenado de 10 estagiários por um período de 6 meses!

Por último, mas não menos surpreendente, o consumo de energia provocado pelas fugas de ar representa 36.5 % do consumo total face à energia consumida na empresa no ano 2010. Apesar de ser um valor muitíssimo elevado e susceptível de dúvidas por ser uma fracção de energia tão elevada, ainda é considerado segundo a literatura, um valor aceitável para perdas de energia através de fugas de ar comprimido. De acordo com Saidur, Rahim e Hasanuzzaman, as fugas podem ser uma significativa fonte de perda de energia representando entre 20 – 50 % do total de produção de ar comprimido [12]. Por outro lado, na apresentação feita na Bosch no dia 2 de Julho pela empresa *smc*, sobre “eficiência no custo da pneumática”, estima-se que 20 a 50 % do consumo total de ar comprimido em qualquer unidade produtiva deva-se a fugas no sistema [16].

### 5.3. Fornos de soldadura

No âmbito da Auditoria Energética que a empresa está a efectuar, foram realizadas medições nos fornos (assim como noutros equipamentos) de consumos de energia eléctrica. As medições tiveram um período de duração de 2 semanas diferentes.

É importante realçar que os fornos nunca são desligados, excepto em caso de avaria. Apenas é desligado o gás natural e propano no final de cada dia de trabalho. As resistências dos fornos ficam ligadas para garantir uma temperatura mínima de 750 °C nas paragens habituais (fim de turno e fins-de-semana), para os fornos n.º 3 e 5 e 900 °C para o forno n.º 4; em caso de paragens prolongadas (férias, Natal, etc.), os fornos são mantidos a uma temperatura mínima de 150 °C para evitar problemas associados à infiltração de

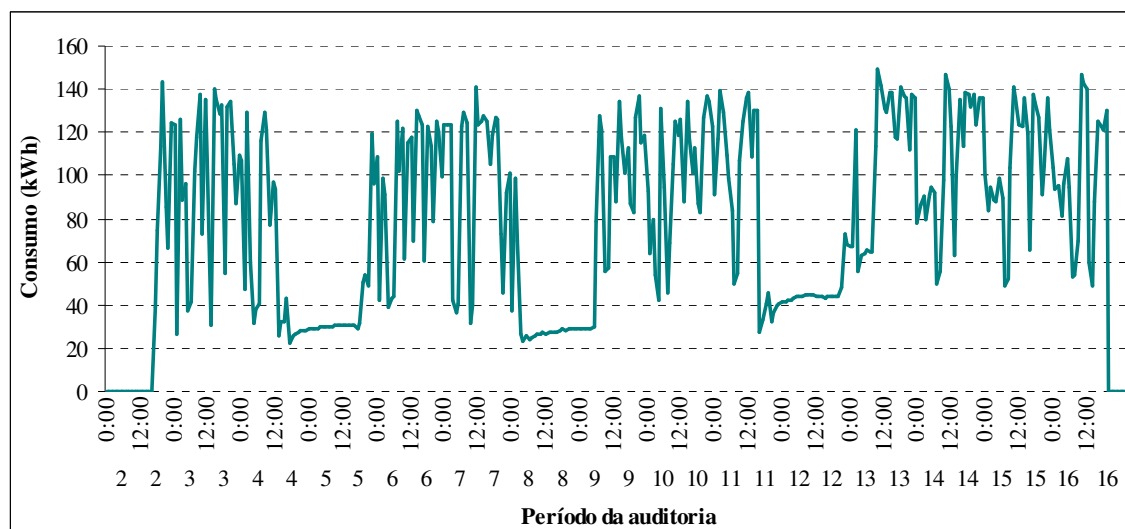
humidade. Habitualmente os fornos trabalham a uma temperatura de 900 °C – fornos n.º 3 e 5 e 1100 °C – forno n.º 4.

Os resultados encontram-se nos diagramas de carga que se seguem.

### 5.3.1. Forno de soldadura n.º 3

O forno 3 labora durante 3 turnos: turno da manhã, das 06h às 13h30; turno da tarde, das 13h30 às 21h; e turno da noite, das 21h às 04h30. No total, está em produção durante 22.5 horas, incluindo os tempos de pausa para almoço e intervalos.

As medições de consumo eléctrico realizadas ao forno n.º 3 encontram-se representadas no gráfico seguinte:



**Figura 21. Diagrama de carga de energia eléctrica associado a duas semanas de Dezembro de 2010.**

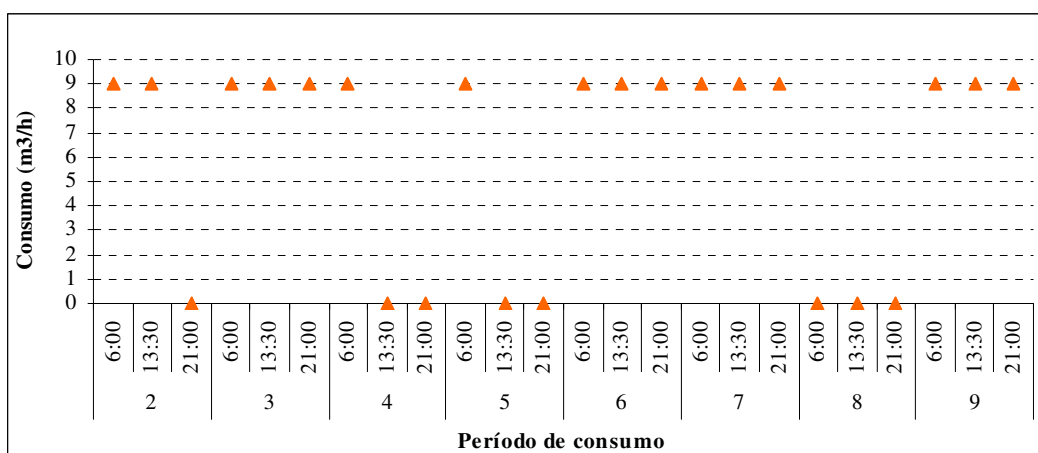
É precisamente nos intervalos (sensivelmente às 13h para almoço, às 09h30 para pequeno-almoço e 17h30 para lanche) que se registam as maiores reduções de consumo de energia, como se verifica no gráfico da figura 21.

Para além disso, ao analisarmos o gráfico verifica-se que existe um determinado padrão de consumo ao longo da semana; as curvas de consumo são muito semelhantes. Quando em produção em dias normais, o forno 3 regista consumos horários que oscilam entre os 110 e os 140 kWh, resultando num consumo médio diário de 2 443 kWh. Aos fins-de-semana o forno é mantido a uma temperatura de *stand-by*, consumindo energia eléctrica que ronda os

de 1 410 kWh (num período aproximado de 27 horas), valor muito elevado tendo em conta que não está em produção. Tendo em conta que o preço do kWh na fábrica é de 0.093 €, este consumo nestes períodos de paragem rondam os 131 € por fim-de-semana, alcançando os 6 800 € num ano, só para o forno n.º 3.

É de notar que no dia 8 de Dezembro verifica-se um período longo de baixo consumo que foi devido ao feriado nacional, durante a qual a fábrica não laborou.

Vejamos agora o consumo térmico no mesmo forno e para o mesmo período da auditoria. Este consumo foi obtido com base nas três leituras efectuadas diariamente aos caudalímetros, pelos responsáveis de turno (uma leitura no início de cada turno).



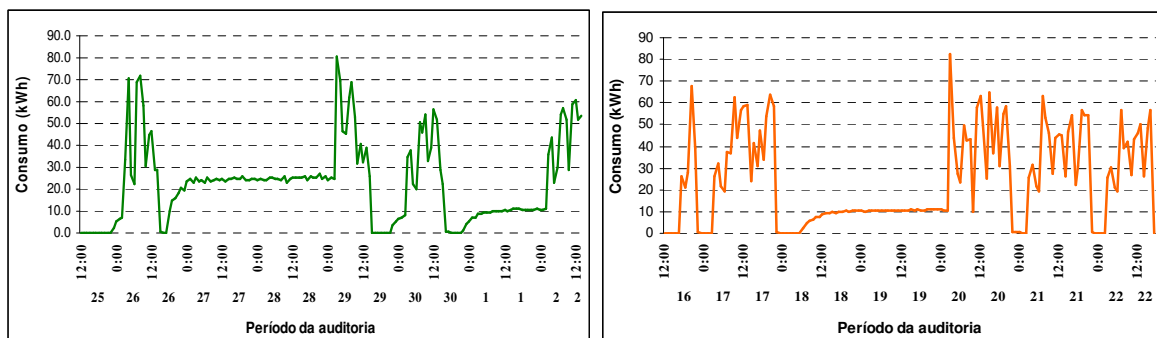
**Figura 22. Diagrama de carga associado ao caudal de gás natural, em m³, durante duas semanas do mês de Dezembro de 2010.**

De acordo com o registo efectuado aos caudalímetros, os quais medem o caudal instantâneo de gás natural, verifica-se que o caudal desta fonte de energia é praticamente constante ao longo do tempo (9 m³/h), como se constata no gráfico da figura 22. Sempre que o forno não está em produção, ou seja, aos fins-de-semana e todos os dias das 04h30 às 06h00, a alimentação de gás ao forno é suprimida, não havendo, portanto, consumo de energia térmica nos períodos de *stand-by*.

Tendo em conta que cada turno é constituído por oito horas, nesse período o forno consome cerca de 72 m³ de gás natural, perfazendo os 216 m³ num dia de trabalho.

### 5.3.2. Forno de soldadura n.º 4

Os resultados das medições de consumo eléctrico efectuadas ao forno n.º 4 encontram-se nos gráficos da figura seguinte:



**Figura 23. Diagramas de carga de energia eléctrica medidos durante duas semanas dos meses de Novembro e Dezembro de 2010.**

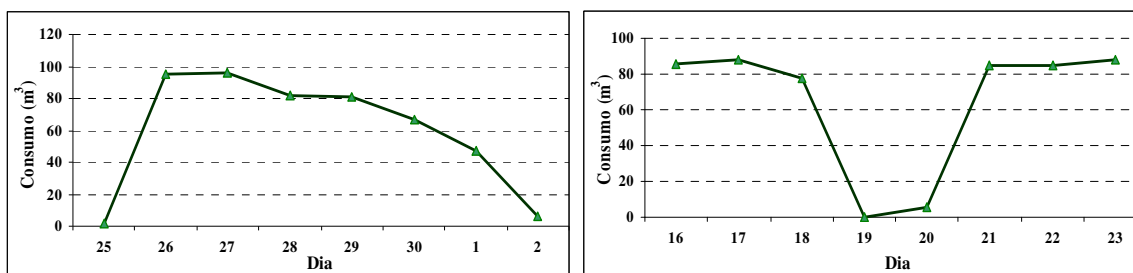
O forno n.º 4 labora durante 2 turnos: turno da manhã, das 06h às 13h30 e turno da tarde, das 13h30 às 21h. No total, está em produção durante 15 horas, incluindo os tempos de pausa para almoço e intervalos. Tal como acontece no forno 3, a redução de consumo regista-se sobretudo nas pausas para almoço e lanche e no período de paragem à noite (das 21h às 06h), como se pode verificar pelos gráficos da figura 23. É precisamente este período que suscita algumas dúvidas quanto à medição. Os responsáveis pela secção e pelo forno dizem que este forno nunca é desligado, funciona exactamente como os outros dois, nos quais se baixa a temperatura nos períodos sem produção como nos fins-de-semana, feriados e férias. É justamente o que se observa nos gráficos; nos fins-de-semana 27, 28 e 18, 19 e no feriado 1 de Dezembro, o consumo baixa significativamente.

Quando em produção, o forno apresentou um consumo semanal relativamente padronizado; o seu consumo horário oscila entre os 35 e 60 kWh e o seu consumo médio diário é de 714 kWh. Aos fins-de-semana o forno tem um consumo praticamente constante. No entanto, apesar do consumo linear, há disparidades entre as duas semanas. Na primeira semana, de 25 de Novembro a 2 de Dezembro, o consumo neste tempo de paragem é elevado, consumindo-se no total 1 183 kWh. Por sua vez, na outra semana a paragem de fim-de-semana regista um consumo muito inferior ao anterior, 415 kWh. Já no feriado que aconteceu no dia 1 de Dezembro, o consumo foi de 238 kWh, situação que se aproxima da do fim-de-semana de menor consumo. Esta diferença entre os dois fins-de-



semana é muito importante porque evidencia uma utilização menos correcta do forno 4 e a pouca sensibilização quanto ao consumo desnecessário de energia.

O consumo térmico neste forno foi obtido através do contador de gás natural que existe neste forno. No entanto, os registos para o mesmo período da auditoria de consumo eléctrico são diários e não horários. O consumo de gás natural é apresentado nos gráficos da figura 24.



**Figura 24. Diagramas de carga associados ao consumo de gás natural, em m<sup>3</sup>, durante duas semanas dos meses de Novembro (a) e Dezembro (b) de 2010, da esquerda para a direita, respectivamente.**

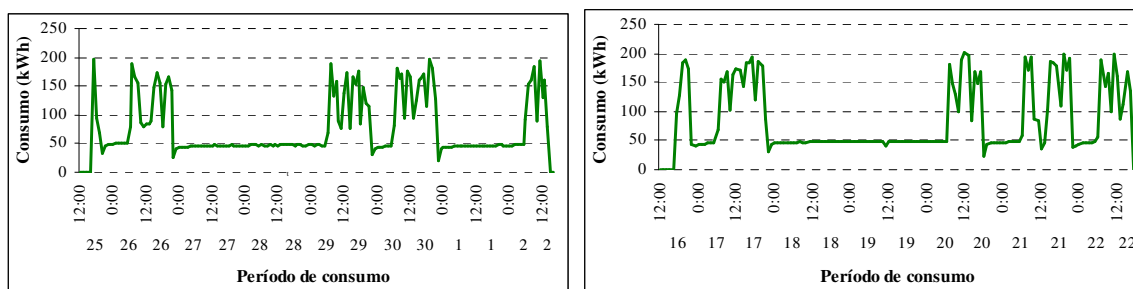
Com os gráficos da figura 24 observam-se dois comportamentos distintos mais notáveis nos fins-de-semana, em que numa semana há consumo e noutra não há consumo de energia térmica. O resultado comumente observado, depois de falar com os responsáveis do forno 4 e da secção, é o que se observa no gráfico b), no qual não deverá existir consumo de energia térmica, pois a alimentação de gás natural é cortada nestes dias sem produção. Assim como acontece, segundo os responsáveis, no período da noite, das 21h às 06h, mas que não é visível nos gráficos apresentados porque estes tratam de valores diários e não horários como os gráficos que representam as curvas de consumo eléctrico.

A curva de consumo no gráfico a) pode ser devida a duas situações: ou ocorreu numa semana em que houve produção durante o fim-de-semana, situação menos frequente mas que acontece quando há aumento de pedidos de encomendas. Ou então também pode ter ocorrido uma falha no programa do forno que não permitiu desligar o gás natural.

Quanto ao consumo de energia térmica, diariamente o forno 4 consome em média cerca de 86 m<sup>3</sup> de gás natural, totalizando 516 m<sup>3</sup> numa semana típica de trabalho, como o que acontece no gráfico b) da figura 24.

### 5.3.3. Forno de soldadura n.º 5

As medições de consumo de energia eléctrica do forno n.º 5 foram realizadas nas semanas de 25 de Novembro a 2 de Dezembro de 2010 e de 16 a 22 do mesmo mês, durante a Auditoria de Energia. Os resultados encontram-se nos dois gráficos da figura seguinte.

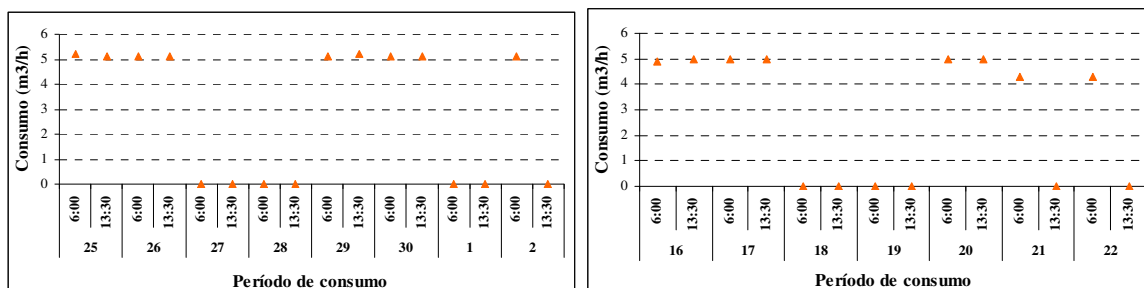


**Figura 25. Diagramas de carga de energia eléctrica associados a duas semanas dos meses de Novembro e Dezembro de 2010.**

Olhando para os gráficos da figura 25 verifica-se que, em produção, o forno 5 tem um consumo horário que oscila entre 100 e 190 kWh. Por dia o seu consumo é, em média, 2 547 kWh e aos fins-de-semana, altura em que o forno está em *stand-by*, o seu consumo horário é cerca de 48 kWh e consome no total 2 259 kWh neste período. Trata-se de um valor muito elevado uma vez que este consumo acontece sem produção, é apenas para a manutenção do forno. Nestes dois dias, o valor corresponde a praticamente um dia de produção. Isto traduz-se em 940 kg de emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera e um custo de 210 euros por fim-de-semana à empresa.

Este forno, como se constata, apresenta um consumo relativamente padronizado ao longo de uma semana de trabalho.

Acompanhemos agora o consumo térmico deste forno. O consumo de gás propano do forno 5 foi obtido do mesmo modo que o consumo térmico do forno 3, ou seja, com base nas leituras efectuadas diariamente aos caudalímetros – duas por dia, que correspondem a uma leitura efectuada no início dos dois turnos.



**Figura 26. Diagramas de carga associados ao caudal de gás propano, em m<sup>3</sup>/h, durante duas semanas dos meses de Novembro e Dezembro de 2010.**

Neste forno existem quatro caudalímetros, ilustrados na figura 27, associados ao fornecimento de gás propano ao forno de soldadura n.º 5.



**Figura 27. Conjunto de caudalímetros do forno n.º 5.**

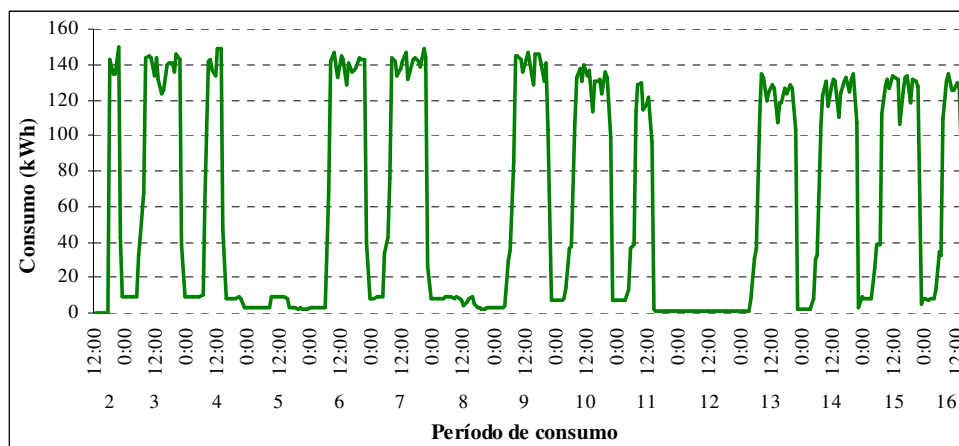
Como se pode verificar pelos gráficos da figura 26, o caudal de gás propano é praticamente constante ao longo do tempo. Mesmo sabendo que estas curvas resultam apenas de duas leituras diárias, foram feitas outras leituras ao longo do dia e observou-se que o caudal oscila sempre nesta gama de valores.

Como acontece nos outros fornos, não há consumo térmico quando o forno está em *stand-by*.

Tendo em conta que cada turno é constituído por oito horas, nesse período o forno consome cerca de 40 m<sup>3</sup> de gás natural, totalizando 80 m<sup>3</sup> num dia de trabalho.

## 5.4. Linha de pintura electrostática

O gráfico da figura seguinte representa o diagrama de consumo de energia eléctrica da linha de pintura, relativo às semanas de 2 a 16 de Dezembro de 2010. Estes valores de consumo foram obtidos através do contador de energia eléctrica existente nesta linha.

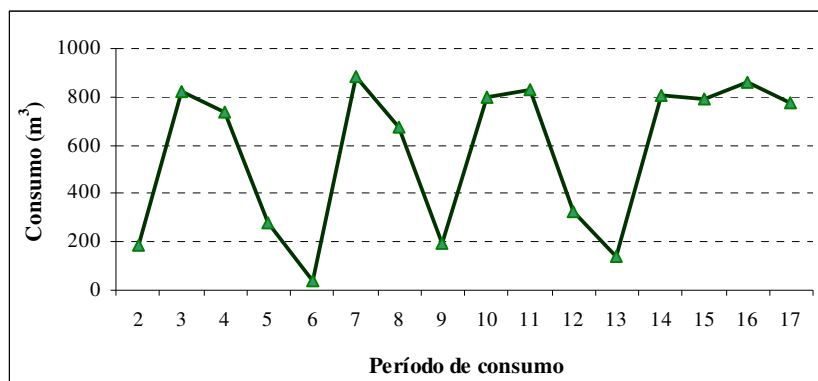


**Figura 28. Diagrama de consumo de energia eléctrica da linha de pintura.**

Pode-se verificar que as curvas do gráfico da figura 28 seguem um padrão de consumo praticamente idêntico ao longo do tempo. Através da análise às leituras registadas no contador eléctrico que se encontra nessa linha, sabe-se que o consumo horário oscila entre 120 e 142 kWh e o consumo médio diário da linha é de 2 070 kWh. Aos fins-de-semana a linha de pintura fica em *stand-by*, atingindo um consumo total de energia eléctrica de 314 kWh. O seu consumo em *stand-by* mantém-se por cerca de oito horas e tem um valor aproximado de 9 kWh, totalizando 72 kWh. Por outro lado verifica-se que num fim-de-semana não há consumo e noutro já existe um consumo mínimo que oscila entre 3 e 9 kWh. Ora, esta é, segundo o responsável pela linha, a situação que normalmente acontece na empresa mas o consumo deveria ser inferior a 9 kWh. Parte dele é necessário, segundo o mesmo responsável, para assegurar a regeneração dos banhos e manter outros equipamentos em funcionamento, mas mesmo assim é um valor superior ao necessário para essas funções.

A linha de pintura é por excelência um grande consumidor de gás natural. O período de consumo é de 2 a 17 de Dezembro de 2010 e os valores de consumo foram obtidos através

do contador de gás natural existente na linha. Os resultados encontram-se no gráfico da figura seguinte.



**Figura 29. Diagrama de consumo associado ao consumo de gás natural, em m³, na linha de pintura.**

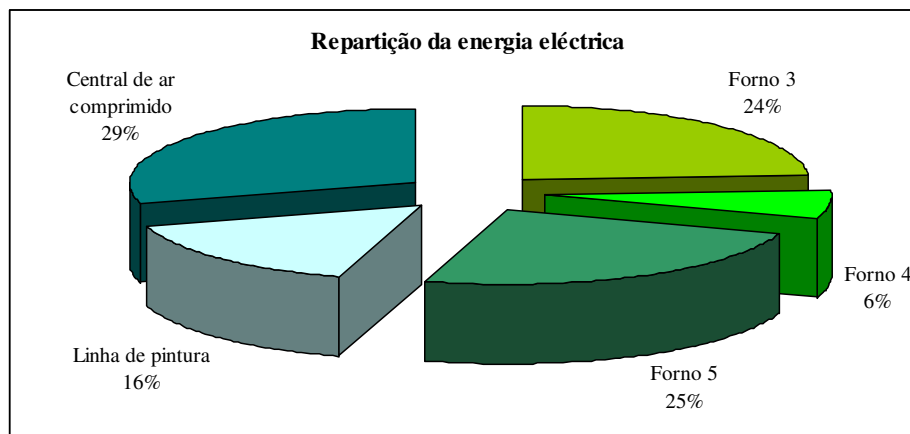
Analisando o gráfico da figura 29 verifica-se que a curva de consumo é semelhante ao longo do tempo; o consumo de gás natural diminui aos fins-de-semana (dias 4 e 5, 11 e 12) e feriado (dia 8). Mas, segundo o responsável pela linha de pintura, não deveria haver consumo de gás natural aos fins-de-semana. Normalmente não existe consumo de energia térmica quando a linha não está em produção. Como este gráfico apenas diz respeito a consumos diários, não é possível discriminar o que se passa no período nocturno.

Com os registos efectuados diariamente através do contador sabe-se que em produção a linha de pintura consome diariamente em média 798 m³ de gás natural.

## 5.5. Súmula geral

Neste ponto deste trabalho será apresentado um resumo de tudo o que foi descrito no capítulo 5 relativamente a consumos de energia.

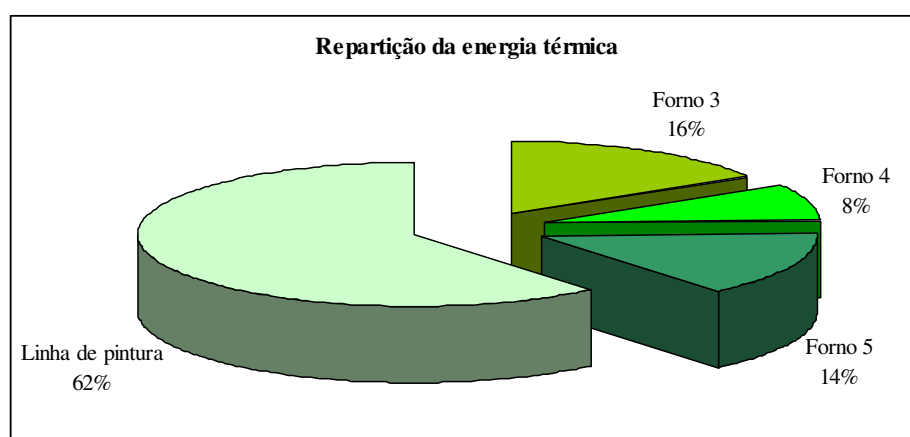
A figura seguinte representa o peso que cada grande consumidor tem, sobre a factura diária de energia eléctrica.



**Figura 30. Repartição do consumo de energia eléctrica pelos grandes consumidores de energia, em 2010.**

Constata-se pela figura 30 que é a central de ar comprimido que mais energia consome diariamente tendo, no seu conjunto, quatro compressores responsáveis pela produção de ar comprimido para responder a todos os processos que utilizam esta forma de energia. O forno 4, apesar de um peso relevante no consumo de energia eléctrica, é o que menos consome no topo dos grandes cinco consumidores, contribuindo com 6 % na factura da electricidade.

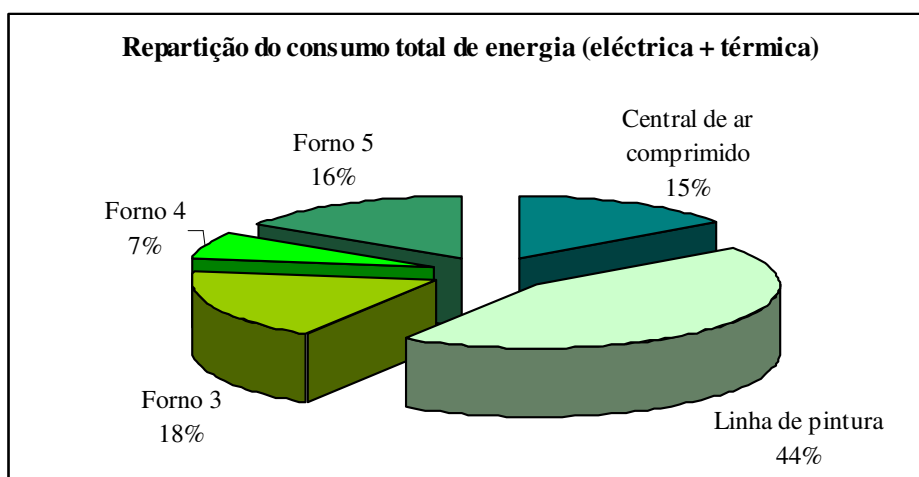
A figura seguinte representa agora o peso que cada grande consumidor tem, sobre a factura diária de energia térmica. Note-se que está excluída a central de ar comprimido visto que não utiliza energia térmica.



**Figura 31. Repartição do consumo de energia térmica pelos grandes consumidores de energia, em 2010.**

Relativamente ao consumo de energia térmica, é a linha de pintura que detém a maior fatia de consumo de toda a empresa, consumindo 62 % de gás natural. O forno 4 é, dos grandes consumidores, o que menos energia térmica consome, contribuindo com 8 % (fig. 31).

Com base nos registos históricos do contador desta secção, estima-se que no último ano (2010) a linha de pintura tenha consumido 212 139 m<sup>3</sup> de gás natural.



**Figura 32. Repartição do consumo total de energia pelos grandes consumidores de energia, em 2010.**

O gráfico da figura 32 apresenta agora o total de energia eléctrica e térmica consumida pelos grandes consumidores de energia. É a linha de pintura que detém a maior fatia de energia na empresa, com quase metade de todo o consumo de energia, e o forno 3 a menor fatia, no conjunto dos cinco grandes consumidores.

A tabela seguinte reúne um conjunto de características dos grandes consumidores de energia na empresa.

**Tabela 11. Características dos equipamentos de maior consumo de energia na fábrica.**

Equipamento	Número de inventário	Tipo de energia	Potência (kW)	Tempo de funcionamento (h/dia)			
				Energia eléctrica		Energia térmica	
				Produção	Stand-by	Produção	Stand-by
<b>Forno 3</b>	885244/001	Eléctrica Gás natural	190 86	22.5	1.5	22.5	0
<b>Forno 4</b>	887074/001	Eléctrica Gás natural	95 41	15	9	15	0
<b>Forno 5</b>	886682/001	Eléctrica Gás propano	190 89	15	9	15	0
<b>Linha de pintura</b>	887431	Eléctrica Gás natural	191 320	15	9	15	0
<b>Central de ar comprimido</b>	-	Eléctrica	405.5	24	0	-	-

Em concordância com o gráfico de repartição de consumo das figura 32, a central de ar comprimido é a que possui a potência eléctrica mais elevada, seguindo-se a linha de pintura com a potência térmica mais elevada, como se constata na tabela 11.

De seguida apresentam-se os consumos de energia diários e anuais dos cinco consumidores de maior expansão na empresa, assim como as características associadas a esses consumos – custos e emissões de CO<sub>2</sub>.

Os consumos anuais dos equipamentos foram obtidos através dos contadores (no caso dos compressores, pintura e forno n.º 4) e do registo dos caudalímetros (no caso dos fornos n.º 3 e 5). Por sua vez, os valores de consumo térmico, expressos em MWh, foram alcançados de acordo com o factor de conversão presente nas facturas do gás natural da empresa (11.875 m<sup>3</sup>/kWh). Para o GPL foi utilizado o seu PCI (11 900 kcal/kg).

**Tabela 12. Consumos, emissões de CO<sub>2</sub> e custos associados aos equipamentos de grande consumo de energia na empresa, no ano 2010.**

Energia na empresa, no ano 2010.

Equipamento	Consumo diário de energia (MWh)		Consumo total anual (MWh)		Emissões de CO <sub>2</sub> (ton CO <sub>2</sub> /ano)		Custo com a energia (€/ano)		
	Eléctrica		Térmica	Energia eléctrica	Energia térmica	Energia eléctrica	Energia térmica	Eléctrica	Térmica
	Laboração	Stand-by	Laboração						
Forno 3	2.4	1.2	2.4	718.3	549.0	299.1	92.0	66 805	51 060
Forno 4	0.7	0.2	1.2	201.9	270.3	84.1	45.3	18 776	25 140
Forno 5	2.5	1.1	2.1	682.4	422.2	284.2	91.8	63 460	29 344
Linha de pintura	2.1	0.1	9.0	521.8	2 519.2	217.3	422.1	48 524	234 279
Central de ar comprimido	3.4	1.0	-	1 043.4	-	434.5	-	97 032	-
Total	11.1	3.6	14.7	3 167.8	3 760.7	1 319.2	651.2	294 597	339 823

Observando a tabela 12 verifica-se que estamos a lidar com valores de consumo muito elevados mas que, apesar de estarem associados a equipamentos com um consumo de energia intenso, também estão associados a grandes desperdícios, como se constata na coluna do consumo diário em *stand-by*. O consumo de energia nos fornos nesses períodos improdutivos assume ainda uma grande relevância, sugerindo-se, por isso, que se baixe o actual valor da temperatura de manutenção.



O número mais elevado de emissões de CO<sub>2</sub> está associado ao consumo de gás natural na linha de pintura, alcançando cerca de 422 toneladas. Estes valores foram obtidos com base no calculador de CO<sub>2</sub> da Bosch, o qual se encontra representado figura 33.

Enter information in white fields only. All coloured fields are calculated automatically.								
Entity/Site	Country	Code	Usage/Description	Energy Source/Fuel Type	Quantity	Unit	Factor kg CO <sub>2</sub> per unit	t CO <sub>2</sub>
Bosch	PORTUGAL	PT	Forno 3	Electricity	718,328	MWh	416,424	299,129
Bosch	PORTUGAL	PT		Natural Gas (not compressed)	46235	m3	1,98968	91,993
Bosch	PORTUGAL	PT	Forno 4	Electricity	201,89	MWh	416,424	84,072
Bosch	PORTUGAL	PT		Natural Gas (not compressed)	22764	m3	1,98968	45,293
Bosch	PORTUGAL	PT	Forno 5	Electricity	682,37	MWh	416,424	284,155
Bosch	PORTUGAL	PT		Liquid Petroleum Gases (LPG)	30,6	tons	2984,63	91,330
Bosch	PORTUGAL	PT	Pintura	Electricity	521,768	MWh	416,424	217,277
Bosch	PORTUGAL	PT		Natural Gas (not compressed)	212139	m3	1,98968	422,089
Bosch	PORTUGAL	PT	Ar comprimido	Electricity	1043,357	MWh	416,424	434,479
SUM t CO <sub>2</sub>								1969,816

**Figura 33. Tabela utilizada para o cálculo de emissões de CO<sub>2</sub> na empresa.**

Dado o elevado consumo total de energia térmica que se regista, é imprescindível que se garanta que a alimentação de gás é cortada aquando as paragens de produção nos equipamentos, de modo a garantir que não há consumo desnecessário de energia.

Depois da central de ar comprimido, o forno n.º 3 é o maior consumidor de electricidade e o que, inevitavelmente, mais custos acarreta à empresa (cerca de 66 mil euros em 2010).

Por fim, temos os desperdícios de energia representados na tabela 13.

**Tabela 13. Desperdícios de energia associados aos cinco grandes consumidores de energia.**

Equipamento	Consumo eléctrico (MWh)				Emissões de CO <sub>2</sub> (ton CO <sub>2</sub> )		Custo (€)	
	Fugas de ar comprimido		Consumo em <i>stand-by</i>					
	Diário	Anual	Diário	Anual	Diário	Anual	Diário	Anual
Forno 3	-	-	1.2	142.8	0.5	59.5	112.4	13 375.6
Forno 4	-	-	0.2	23.8	0.1	9.9	20.2	2 403.8
Forno 5	-	-	1.1	130.9	0,5	54.5	104.6	12 447.4
Linha de pintura	-	-	0.03	11.0	0,01	3.7	3.0	1 095.0
Compressores	0.9	380.7	-	-	0.4	158.6	84.9	35 407.9
Total	0.9	380.7	2.5	308.5	1.5	286.2	325.1	64 729.7

A tabela 13 resume os desperdícios de energia relativamente aos compressores, em matéria de fugas de ar comprimido, e aos desperdícios nos três fornos e pintura sob a forma de consumo nos períodos sem produção. Os valores diários de consumo de energia eléctrica

em *stand-by* foram determinados com base nos diagramas de carga, no período da Auditoria. Para os valores anuais assumiu-se 119 dias, isto é, 104 dias de fim-de-semana mais 5 dias de paragem para férias e mais 10 dias de feriados de 2010.

Para a pintura considerou-se que apenas necessita de 5 kWh e não os 9 kWh que se regista todos os dias à noite e aos fins-de-semana, sem produção, um desperdício de 4 kWh, durante todos os dias do ano.

As fugas de ar comprimido, como se pode verificar, representam o maior desperdício de energia para a empresa, que se traduz em custos muito elevados e num conjunto de emissões para a atmosfera de cariz muito preocupante. No seu conjunto, a ineficiente utilização de energia significa cerca de 286 toneladas de dióxido de carbono e um custo para a empresa de mais de 60 mil euros.

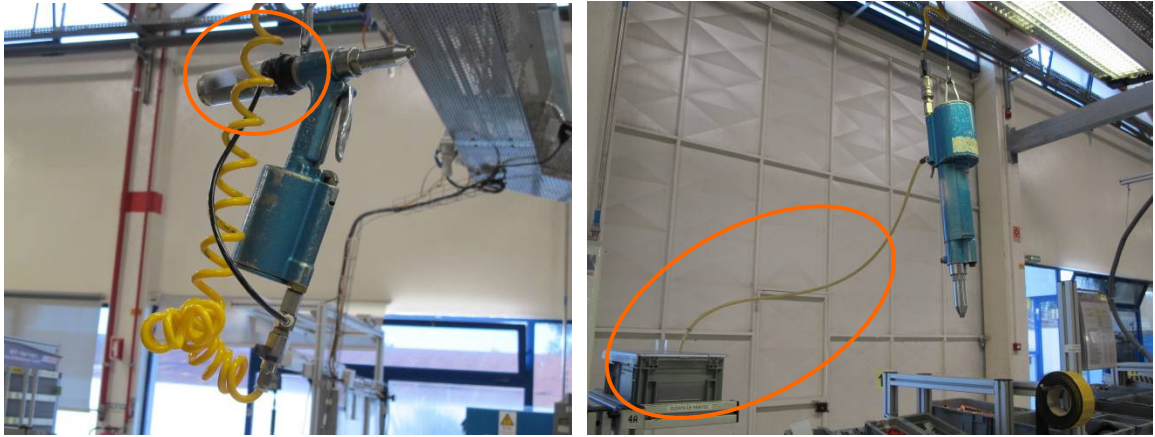
## **6. MEDIDAS DE RACIONALIZAÇÃO ENERGÉTICA E AMBIENTAL**

Neste capítulo serão apresentadas medidas com vista à optimização da eficiência energética na empresa, com base no longo trabalho que foi feito ao longo do estágio na empresa. Este trabalho passou pela identificação de situações que poderiam ser melhoradas e que por sua vez conduziriam não só a um aumento na eficiência energética na empresa como contribuiriam para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Estas medidas passam pela substituição de algum equipamento pneumático por equipamento eléctrico, pela aplicação de válvulas de corte em equipamentos existentes na fábrica, pela substituição de equipamentos por outros mais eficientes, entre outras medidas. Os resultados espectáveis de cada uma dessas medidas propostas neste ponto serão apresentados no capítulo seguinte deste trabalho.

### **6.1. Medida 1 – Aplicação de válvula de corte em todas as rebitadoras existentes na fábrica**

As rebitadoras são equipamentos pneumáticos existentes em pouca quantidade na fábrica, como se pode constatar através da tabela 12. Contudo, têm um impacte muito significativo devido à sua especificidade técnica. Isto é, quando o equipamento é utilizado o rebite tem

que sair e isto acontece de duas maneiras: ou fica armazenado numa espécie de copo que existe na própria rebitadora – figura 34 a), ou então é conduzido através de um tubo para ser armazenado numa caixa – figura 34 b).



**Figura 34. Rebitadora com sistema de armazenamento de rebites num copo cilíndrico – figura a) da esquerda, e rebitadora com tubo que conduz os rebites para uma caixa de armazenamento – figura b) da direita.**

Para que o armazenamento aconteça é necessário haver pressão. É então que surge o problema pois através do tubo o ar não pára de ser debitado, mesmo quando a rebitadora não está a ser utilizada. O mesmo acontece para a rebitadora com o sistema do copo; o copo possui uns furos pelos quais o ar está constantemente a sair. Teoricamente deveria ser desligada no fim de cada turno mas na prática raramente isso acontece passando 24 horas ligada, a debitar ar e a desperdiçar energia.

Para contabilizar este desperdício, foi realizado um levantamento de rebitadoras existentes na fábrica assim como o seu modelo (do tubo ou do copo) (tabela 14).

**Tabela 14. Levantamento de rebitadoras existentes na fábrica.**

Secção	Posto	Número de rebitadoras	
		Com tubo	Sem tubo
<b>881</b>	59		1
	57		1
	39		1
	14		1
<b>872 - Linha 8</b>	6	1	
	-	1	1
<b>872 - Linha 6</b>	22	1	
<b>872 - Linha 5</b>	4B	1	
	7	1	
	-	1	
	-	1	
<b>872 - C4</b>	7	2	
<b>864</b>	9		1
<b>860</b>	19	1	
<b>856 - Preparações</b>	103		1
<b>855 - Preparações</b>	4		1
<b>855 - Chaminés</b>	1	2	
<b>Total</b>	-	13	8

Constatou-se que das 20 rebitadoras que existem, 8 delas possuem o tal copo e 2 destas já têm um sistema que evita o desperdício de ar – válvula de corte. Para perceber a dimensão deste problema, foi realizado um estudo para contabilizar este desperdício de energia em kWh, custos e emissões de CO<sub>2</sub>.

A solução para este problema passa pela incorporação de uma válvula de corte em cada rebitadora, de modo a que o ar seja suprimido assim que esta deixe de ser utilizada. Desse modo evitar-se-á que a rebitadora esteja continuamente a debitar ar sempre que não é utilizada. Este procedimento é viável e eficaz dado que já existem duas rebitadoras às quais foram aplicadas estas válvulas, precisamente na secção do “solar box” (fig. 35).



**Figura 35. Rebitadora (assinalada em baixo) com válvula de corte (assinalada em cima).**

Os resultados deste estudo serão apresentados de seguida no ponto 7 desta dissertação.

## 6.2. Medida 2 – Substituição de rebitadoras pneumáticas por rebitadoras eléctricas

Uma outra medida para evitar futuramente esta situação é deixar de comprar rebitadoras pneumáticas e passar a comprar rebitadoras eléctricas. Na Bosch Termotecnologia só existem pneumáticas mas é possível, a médio prazo, inverter esta tendência de utilização pneumática, dado que as utilizadas actualmente envolvem consumos astronómicos de energia.

Atendamos às características destes dois tipos de rebitadoras:

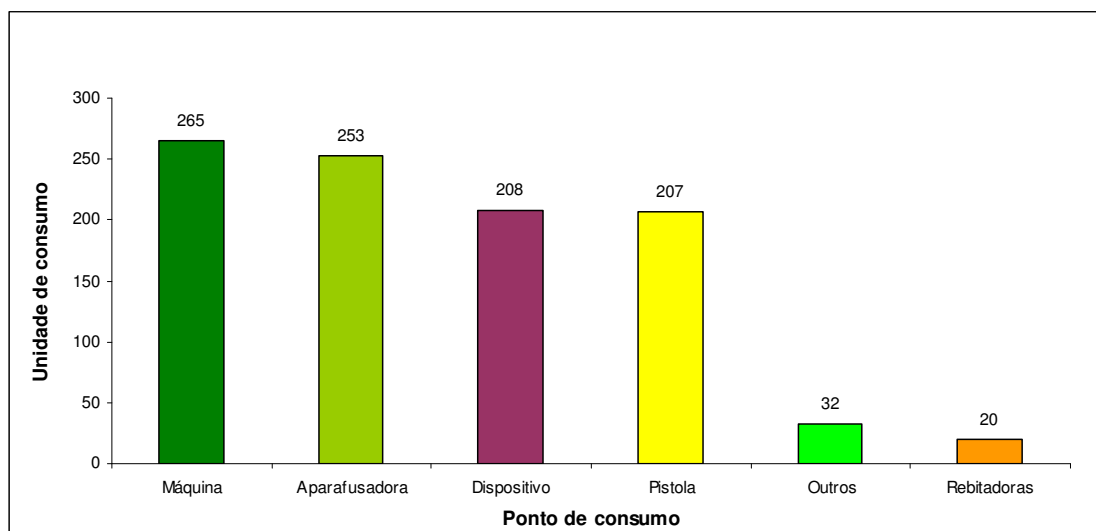
**Tabela 15. Características dos dois tipos de rebitadoras (Fonte: dados obtidos por uma empresa fornecedora de rebitadoras, a “Drilco”).**

Rebitadora	Descrição	Características	Preço (€)
<b>Pneumática</b>	Rebitadora pneumática	Capacidade de rebitagem até 5,2 mm de diâmetro em todos os materiais;	711,03
<b>Eléctrica</b>	Rebitadora eléctrica de bateria, composta por duas baterias 14,4V e por um carregador de bateria <i>Lithium</i>	Capacidade de rebitagem até 5,0 mm de diâmetro em todos os materiais; curso: 20 mm	884,68

Como se pode verificar pela tabela 15, estas rebitadoras apresentam características muito semelhantes, mesmo no preço a diferença é pouca, pelo que facilitará a compra de rebitadoras eléctricas quando tal for necessário. No capítulo seguinte apresentar-se-á o estudo efectuado a estes dois tipos de rebitadoras.

### 6.3. Medida 3 – Substituição de aparafusadoras pneumáticas por aparafusadoras eléctricas

Um dos primeiros trabalhos realizados na empresa foi fazer um levantamento de todos os pontos de consumo de ar comprimido existentes na empresa. Desse estudo resultou o seguinte gráfico:



**Figura 36. Pontos de consumo de ar comprimido na empresa Bosch Termotecnologia.**

Pelo gráfico da figura 36 verifica-se que existem muitos pontos de consumo de ar comprimido na fábrica, num total de 985; tratam-se maioritariamente de consumos pontuais como é o caso das aparafusadoras ou de pistolas.

Através deste estudo levantou-se a possibilidade de substituir algumas aparafusadoras pneumáticas (fig. 37) por aparafusadoras eléctricas (fig. 38).

As aparafusadoras pneumáticas são ferramentas rotativas accionadas por um motor rotativo, funcionando a ar comprimido; compõem o grupo principal das ferramentas pneumáticas.



**Figura 37. Aparafusadoras pneumáticas.**



**Figura 38. Aparafusadora eléctrica.**

Os dois principais motivos para este estudo são o facto de a energia sob a forma de ar comprimido ser muito cara, dada a grande utilização destes equipamentos, apesar do seu uso ser pontual e, também, pelo facto de que associada à desmesurada utilização deste tipo de energia estão as fugas de ar comprimido que representam todos os anos uma grande despesa para a empresa.

Para este estudo elaborou-se, então, uma pesquisa sobre as características destes dois equipamentos e realizaram-se alguns cálculos de modo a estudar a viabilidade da eventual substituição.

As aparafusadoras com funcionamento a ar comprimido comumente utilizadas na empresa são da marca *Bosch Rexroth*. Também já são utilizadas aparafusadoras eléctricas na empresa mas em muito menor escala; são também da mesma marca que as pneumáticas.



A tabela 16 apresenta algumas características técnicas e algumas vantagens ou desvantagens de ambas as aparafusadoras, de acordo com os manuais de ferramentas eléctricas e pneumáticas da Bosch.

**Tabela 16. Características das aparafusadoras pneumáticas e eléctricas.**

Aparafusadoras pneumáticas	Aparafusadoras eléctricas
N.º de rotações por minuto: 900	N.º de rotações por minuto: 1000
Torque de aperto: 1.5 - 3 Nm	Torque de aperto: 3.5 Nm
Consumo de ar com carga: 12 l/s	Potência: 360 W
Peso: 1 kg	Peso: 2,3 kg (com bateria)
Funcionam a ar comprimido	Funcionam a electricidade
São mais pequenas (para modelos com a mesma potência)	Torque mais preciso (independente das flutuações de pressão)
Não existe risco de sobreaquecimento	Podem sobreaquecer
São mais ruidosas que as eléctricas	Baixo ruído de trabalho
Associadas a possíveis fugas de ar	Isentas de óleo
Preço: aproximadamente 600 €	Preço: 1 122 €
São baratas	São maiores (para modelos com a mesma potência)
	Sem libertação de ar para o espaço de trabalho ou sobre
	Iluminação directa do parafuso
	Melhor ergonomia através dum arranque mais suave
	Sem danos no torque devido ao arranque suave

Para este estudo, foi seleccionada a secção 857 – célula TA, onde se verificou que são utilizadas ambos os tipos de aparafusadoras e que estas têm aplicações praticamente idênticas, ou seja, apertam o mesmo tipo de parafusos e na mesma peça – automático de água, dois parafusos por peça e por aparafusadora. Posteriormente, foi cronometrado o tempo que levou a aparafusar os dois parafusos pela aparafusadora eléctrica e pela pneumática. Esta operação foi realizada pela mesma pessoa, para evitar algum erro associado à maior ou menor rapidez de execução da tarefa pelo operador. A cronometragem foi repetida cinco vezes de modo a fazer uma estatística do tempo dispendido por aparafusadora. Os resultados estão expostos na tabela seguinte.

**Tabela 17. Tempos de aparafusamento para a mesma aplicação, pelos dois tipos de aparafusadoras.**

Aparafusadora	Tempo que leva a aparafusar dois parafusos (s)					Média (s)
Eléctrica	02"38	02"72	02"91	03"00	02"43	02"69
Pneumática	04"32	03"23	03"63	03"56	04"29	03"81

Pela tabela 17 verifica-se que as aparafusadoras eléctricas são muito ligeiramente mais rápidas que as suas homólogas pneumáticas, ganhando cerca de 1.12 segundos por



processo de aparafusamento; valor obtido pela diferença entre os tempos médios da aparafusadora pneumática e eléctrica.

Os resultados previstos deste estudo estão apresentados no capítulo seguinte.

#### 6.4. Medida 4 – Aplicação de válvulas de corte nos aparelhos utilizados para a realização de testes de estanquicidade – ATEQ's

Durante um levantamento de fugas de ar comprimido que se efectuou, aproveitando um dia em que a produção esteve parada, reparou-se que alguns aparelhos debitavam ar quando não estavam a ser utilizados. Após falar com os responsáveis de secção, conclui-se que esta ocorrência é “normal” durante o funcionamento dos aparelhos. Estes são utilizados para fazer os testes de estanquicidade aos esquentadores/caldeiras e o sistema é designado por ATEQ (é a marca do fabricante e assim vulgarmente denominado). Foi feita alguma pesquisa que levou a concluir que esta perda de ar apesar de ser “normal” no equipamento para quem trabalha com estes equipamentos, não é nem uma situação normal e muito menos eficiente do ponto de vista energético, pelo que pode ser controlada ou resolvida.

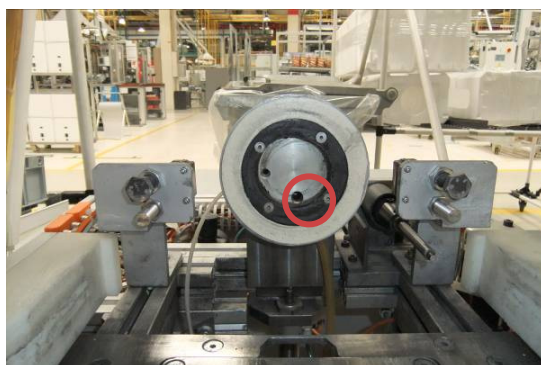
Foi feito em levantamento de todos os ATEQ's existentes na fábrica e uma medição do caudal de ar que os ATEQ's debitam quando não estão em utilização. Os resultados encontram-se na tabela seguinte:

**Tabela 18. Levantamento dos ATEQ's presentes na fábrica e respectivo caudal de ar comprimido.**

Localização do ATEQ	Quantidade	Caudal (l/min)
S872, linha 5	2	38,2+38,2
S872, linha 8, posto 21	1	38,2
S872, linha 8, posto 9	2	10,5+10,5
S872, linha 6	2	38,2+10,5
S841	3	38,2+10,5+10,5
S853, posto 18	1	10,5
S853, posto 14	1	10,5
S853, posto 35	1	10,5
S856, posto 1	1	7,5
S856, posto 93	1	7,5
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>290</b>

Como se pode verificar na tabela 18, existem 15 aparelhos que debitam ar de forma contínua mesmo quando não estão em produção. O caudal de ar total destes equipamentos

é de 290 l/minuto. É importante referir que os valores de caudal presentes na tabela foram obtidos através de um caudalímetro de ar, que se aplicou ao ATEQ que aparentemente mais ar debitava (fig. 39), obtendo-se um caudal de 38.2 l/min, média obtida num intervalo de tempo de cinco minutos.



**Figura 39. Equipamento para teste de estanquicidade com orifício (assinalado a vermelho) que debita ar de forma contínua, S872, linha 5.**

Os outros valores de caudal, nomeadamente 7.5 e 10.5 l/min também foram medidos com o caudalímetro mas em fugas noutros equipamentos em que se considerou que o caudal de ar era semelhante ao dos ATEQ's. É de referir que os valores não medidos directamente nos ATEQ's foram todos considerados por defeito. Exemplifico o ATEQ da secção 841, que atribuí o caudal máximo de 38.2 l/min mas concerteza que o valor é mais elevado dada a pressão sentida do ar que saía pelo orifício. Mas devido à dificuldade de medição (para além de ser necessário não estar um operador a realizar o seu trabalho, seria necessário não só muitos acessórios para aplicar o caudalímetro, como também um mecânico para auxiliar o trabalho), optou-se por atribuir o caudal já conhecido, por aproximação.

A solução para esta situação de ineficiência energética passa pela incorporação de válvulas de corte nos ATEQ's. Os resultados encontram-se no ponto 7 deste trabalho.

## **6.5. Medida 5 – Aplicação de redutores de pressão nas pistolas de ar comprimido**

As pistolas de ar comprimido estão distribuídas por várias secções e postos de trabalho na fábrica e a sua utilização é muito variada. É aí que começa a constituir um problema; como

são de fácil acesso qualquer pessoa utiliza a pistola e o seu uso é, na maioria das vezes, incorrecto. Utilizações como limpar bancas de ensaio, chão, secar roupa são de evitar. Para além disso, todas as pistolas estão ligadas directamente à rede estando, por isso, à pressão de 6 bar. No entanto, a maioria delas não necessita de toda esta pressão para desempenhar a sua função estando por isso a consumir mais energia do que aquela que necessitaria.

Como são muitas pistolas (207 no total) e o seu uso é muito diverso, foi feito um levantamento da principal utilização das pistolas e uma estimativa da sua frequência de utilização. É praticamente impossível medir o número de utilizações exacto porque tirando um ou dois casos (que mais à frente serão referidos) não há nenhum procedimento no processo que exija determinado número de utilizações das pistolas e também qualquer pessoa pode utilizar este aparelho.

Uma solução simples passa pela aplicação de um redutor de pressão nas pistolas de ar comprimido. Esta medida foi pensada para pistolas com utilizações frequentes que, segundo o levantamento efectuado, servem principalmente para limpar limalhas e óleos de peças, como por exemplo os automáticos de gás ou de água, mas que não precisam muita pressão para a função pretendida. Nestas circunstâncias existe um total de 14 pistolas: 7 na secção 843, 3 pistolas na 856 – teclas, 3 na secção 851 – preparações OKU e 1 pistola na secção 856 – preparações.

Os resultados previstos para esta medida serão apresentados no ponto 7 deste trabalho.

### **6.6. Medida 6 – Substituição das actuais pistolas de ar comprimido por pistolas economizadoras de energia, com redutor de pressão**

Esta medida aplica-se também às pistolas de ar comprimido e difere apenas nas circunstâncias de utilização. Numa pesquisa efectuada a fornecedores de equipamentos pneumáticos, verificou-se que a empresa “smc” possui umas pistolas economizadoras de energia que têm a especificidade de aumentar a força de impacto de saída de ar da pistola para o exterior, mesmo quando se reduz a pressão, o que não acontece com as pistolas actualmente utilizadas. São designadas por pistolas de ar comprimido de série VNG.



**Figura 40. Pistola de ar série VNG e bocal de sopro de ar série KN [18].**

Nesta medida sugere-se a substituição das actuais pistolas existentes na empresa por pistolas série VNG (fig. 40) e incorporação de um redutor de pressão. Assim, pode-se reduzir a pressão para 4 bar e ter uma força de impacto superior àquela que se tinha aquando a utilização da antiga pistola a 6 bar, pressão de rede. Foi realizado um teste com uma pistola cedida pela empresa “smc”, numa situação normal de trabalho, na secção 853 onde o operador utiliza uma pistola para limpar limalhas que possam estar dentro de peças que saem da máquina *Seri*, na mesma secção.

Procedeu-se à substituição da pistola por uma VNG e aplicou-se o redutor de pressão baixando a pressão para 4 bar. O operador continuou a realizar o seu trabalho normalmente, com a mesma eficiência e garantiu que a nova pistola “tinha mais pressão”. De modo semelhante a mesma foi testada na serralharia na presença de dois mecânicos que confirmaram a possibilidade de trabalhar com estas pistolas a uma pressão mais baixa.

De acordo com o levantamento referido na medida 5, a substituição destas pistolas será apenas adequado a situações nas quais as pistolas são usadas com maior frequência e têm a importante função de limpeza de peças, vedantes, filtros, entre outros. Nestas circunstâncias existem 120 pistolas distribuídas nas seguintes secções: 9 na S822, 6 na S824, 7 na S831, 1 pistola na S841, 8 na S842, 6 na S851 – maquinaria, 3 pistolas na S871 – CPT2, 3 na S871 – CPT1, 2 na S852 – CA2, 4 na S852 – CA3, 10 pistolas na S853, 3 na S856 – TA, 2 na S857, 4 na S872 – linha 5, 4 na S872 – linha 6, 3 pistolas nas bombas de calor, 2 na S881, 25 pistolas no TEF e 18 no desenvolvimento.

Os resultados esperados encontram-se no capítulo seguinte desta dissertação.

## 6.7. Medida 7 – Aplicação de bocais economizadores de energia nas actuais pistolas de ar comprimido

Uma outra alternativa ainda relativamente às pistolas é a incorporação de um bico ou bocal economizador de energia, em substituição do actual bocal das pistolas existentes na empresa. Estes bocais, apresentados na figura 41, são uma componente das pistolas VNG, anteriormente referidas, e possuem uma grande eficácia, podendo ser incorporados a outras pistolas desde que se mantenha o mesmo diâmetro do bocal.



**Figura 41. Tipo de bocais economizadores de energia.**

De acordo com os dados técnicos da pistola VNG, esta alteração pode reduzir o consumo de energia até 20 % sem minimizar o desempenho da pistola [18].

Os bocais de poupança de energia têm áreas menores do que as de descarga de admissão; por isso, o fluxo de ar comprimido a partir de um tubo aberto é reduzido pela instalação de um bocal economizador de ar. A substituição de bocais antigos por este tipo de bocais reduz significativamente a utilização de ar [19].

Propõe-se que esta prática seja aplicada a 52 pistolas de ar comprimido, com pouca utilização, distribuídas pelas seguintes secções: 9 na 843, 7 na 853, 1 pistola na secção 855 – chaminés, 1 na 855 – preparações, 1 no edifício do solar, 2 no QMM, 1 no SPO 3, 6 no edifício de formação, 4 na fiabilidade, 2 na durabilidade e 3 na auditoria do produto.

## 6.8. Medida 8 – Outras medidas de optimização da utilização de ar comprimido

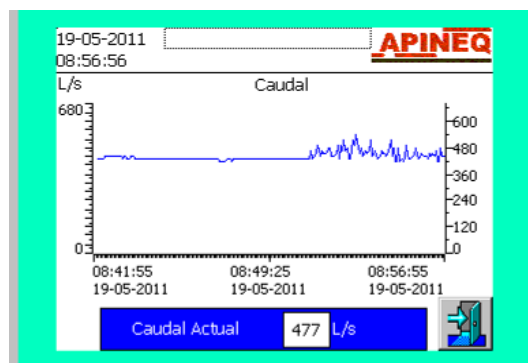
Como já foi apresentado, as fugas de ar comprimido representam um grande problema para a Bosch Termotecnologia, que se traduz em custos elevados e emissões de CO<sub>2</sub> que vão contra os objectivos do Grupo Bosch. Mas existem técnicas de combate às fugas que podem ser implementadas na empresa.

Uma rede de distribuição concebida e instalada correctamente pode diminuir significativamente as fugas de ar comprimido, por exemplo, através da utilização de dispositivos modernos de drenagem de condensados sem perdas de ar, ou através da especificação de ligações de elevada qualidade e duração. Contudo, o aspecto essencial relacionado com este tópico tem a ver com uma manutenção adequada [6].

Essa manutenção passa maioritariamente por acções que podem fazer parte do quotidiano da empresa as quais podem trazer grandes benefícios. Entre elas destacam-se:

- ✓ Optimização da utilização do sistema: ajuste dos controles e redução da pressão. Dado que praticamente todos os equipamentos pneumáticos funcionam à pressão de rede, 6 bar, sugere-se que se faça um trabalho exaustivo e minucioso a todos os equipamentos pneumáticos de modo a avaliar se realmente necessitam de trabalhar à pressão de rede. Assim, será possível otimizar o nível de pressão do ar comprimido do sistema em função das necessidades dos dispositivos de utilização final. De acordo com o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia [6], como regra de base pode afirmar-se que para uma redução de 1 bar na pressão de trabalho da rede, a redução em energia eléctrica associada pode atingir os 6 %. Estas economias energéticas são conseguidas com a ajuda de sistemas de controlo apropriados, por exemplo, controladores baseados em computadores industriais.
- ✓ Substituir a tubagem de distribuição de ar comprimido a ferro por material de inox. Na fábrica quase toda a tubagem de distribuição de ar é feita de inox mas há ainda tubagem muito antiga, de ferro, que ainda não foi substituída, o que conduz a desgastes ao longo do tempo, acabando por sujar e entupir a tubagem de ar comprimido, diminuindo a sua eficiência. Se a substituição for muito dispendiosa para a empresa, então sugere-se que se faça limpeza à tubagem com determinada periodicidade.
- ✓ Fazer o perfil de consumo de ar comprimido em toda a fábrica, quer em termos global quer em termos específicos. Numa visão global pretende-se registar o consumo de ar comprimido em determinados períodos do dia e ir acompanhando e comparando o consumo semanalmente. Isto pode ser feito alterando o controlador de ar comprimido

que existe na central dos compressores, representado na figura 42; este apenas regista o consumo instantâneo e uma alteração no seu software poderá fazer com que passe a guardar os valores ao longo do tempo, num ficheiro típico de base de dados.



**Figura 42. Controlador de ar comprimido.**

Esta alteração é possível e, segundo o fornecedor da marca do controlador, basta adquirir uma nova licença. Posto isto, para avaliar e controlar esse consumo global, sugere-se que se trace um perfil de consumo mais específico, no qual sejam feitas medições de consumo de ar comprimido diariamente. Assim, sugere-se que seja escolhida uma situação padrão em cada linha/secção e a partir daí acompanhar detalhadamente o seu consumo e verificar se há ou não anomalias no consumo. Este acompanhamento pode ser feito através da instalação de caudalímetros de ar nas condutas principais que alimentam as linhas ou secções, para efectuar leituras regulares dos débitos de ar. Isto pode servir também para a detecção de fugas de ar na secção. Em situação de paragem, se houver consumo de ar comprimido significa que existem fugas.

Esta medida seria ideal para pôr em prática logo após a implementação das principais medidas de optimização de ar comprimido e eliminadas as fugas de ar comprimido. Esta medida é uma das mais importantes a tomar para optimizar o consumo de ar comprimido. Resumindo, pretende-se saber quando se produz diariamente e que linhas ou secções mais consomem.

- ✓ Dado que as fugas de ar estão constantemente a surgir, sugere-se uma manutenção mais intensiva a todos os equipamentos pneumáticos. Há cerca de dois anos havia uma pessoa que se dedicava exclusivamente à “caça às fugas”. Sugere-se que se volte a pensar no assunto; com o que se gasta anualmente em fugas de ar comprimido dá para pagar um ordenado a mais de duas pessoas por exemplo.

- ✓ Substituir e reparar mangueiras que estejam ressequidas, velhas, rotas, que são um rastilho para o aparecimento de fugas de ar. Estabelecer um período de vida útil para estas mangueiras de acordo com a sua utilização;
- ✓ Instituição de um programa regular para a identificação de fugas de ar comprimido, mensal por exemplo;
- ✓ Reparação ou substituição de equipamentos com fugas de ar comprimido;
- ✓ Redução de fugas com a utilização de adaptadores de fugas reduzidas, uniões rápidas de elevada qualidade, etc.
- ✓ Divisão do sistema em zonas, com reguladores de pressão apropriados ou válvulas de corte. Fecho de linhas que estão fora de serviço;
- ✓ Eliminação de utilizações não apropriadas de ar comprimido. Um bom exemplo são as pistolas de ar comprimido espalhadas pela fábrica, muitas delas sem qualquer função. Nesta situação foram avaliadas 11 pistolas que podem ser retiradas (1 no parque de resíduos; 2 na secção 842; 1 na secção 843; 1 na secção 881; 3 na secção 872; 2 na linha 5 da secção 872; e 1 na secção 871 – retrabalhos);
- ✓ Identificar e eliminar condutas de ar que não estejam a ser utilizadas, pois estas podem ser uma fonte potencial de fugas de ar;
- ✓ Desligar o ar comprimido quando o dispositivo não está em operação;
- ✓ Para limpeza, usar preferencialmente aspiradores eléctricos; estes consomem menos energia que as pistolas de ar comprimido.



## **6.9. Medidas de eficiência energética para os cinco grandes consumidores de energia**

### **6.9.1. Fornos de soldadura n.º 3, 4 e 5**

Há uma medida de eficiência energética comum aos três fornos que passa por reduzir a sua temperatura de manutenção. Como já foi verificado anteriormente, num fim-de-semana completo os fornos estão sem produção durante pelo menos 36 horas, pelo que o seu consumo global, em manutenção, deverá ser da ordem dos 3 168 kWh, tendo em conta que, em conformidade com os gráficos de consumo eléctrico, os consumos ao fim-de-semana se mantêm nos 48, 30 e 10 kWh para os fornos 5, 3 e 4 respectivamente. Este consumo pode levar a um custo de cerca de 295 euros num fim-de-semana, montante que constitui um desperdício de energia assinalável.

De acordo com a auditoria de energia realizada em 2005, após uma paragem total de algumas horas os fornos recuperam rapidamente a sua temperatura de manutenção e sem consumos anormalmente elevados [20]. Deste modo, sugere-se que se baixe substancialmente o valor de temperatura durante as paragens semanais. Os resultados desta medida são apresentados no ponto seguinte deste trabalho.

Por outro lado, para aumentar a eficiência energética nos fornos, as estratégias devem ser orientadas para a diminuição das perdas térmicas através das paredes e dos gases de combustão, assegurando uma limpeza e manutenção adequadas das superfícies de transferência de calor de modo a evitar a deposição de resíduos sólidos. De acordo com o sistema de gestão dos consumos intensivos de energia [6], as três maneiras de diminuir as perdas térmicas num sistema de combustão são: redução da temperatura de saída dos gases de combustão, diminuição do caudal mássico dos gases de combustão e, por último, substituição de isolamentos térmicos danificados e aplicação de isolamentos mais eficazes.

### **Redução da temperatura de saída dos gases de combustão**

A principal estratégia a seguir para reduzir a temperatura de saída dos gases de combustão passa pelo pré-aquecimento do ar de entrada com os gases de saída da combustão, pois quanto maior a temperatura menor será a necessidade de combustível para produzir a mesma quantidade de energia [21];

### **Diminuição do caudal mássico dos gases de combustão**

A diminuição do caudal mássico dos gases de combustão é conseguida através da redução do excesso de ar à entrada da instalação de combustão. Este excesso de ar pode ser minimizado através do ajuste proporcional do fluxo de ar em relação ao fluxo de combustível. Do ponto de vista do processo de produção, a redução do excesso de ar não é possível, segundo os responsáveis, mas deve assegurar-se que não trabalhe com excesso de ar superior à estequiométrica, ou seja, à quantidade teórica necessária para assegurar a combustão completa.

Uma quantidade de ar de combustão superior à estequiométrica produz maior quantidade de gases de combustão e portanto o calor absorvido por esses gases é maior, pelo que diminui a eficiência do forno [21]. Como regra geral tem-se que uma redução de 1 % no excesso de ar (oxigénio) à entrada da instalação de combustão conduz a uma redução do consumo de combustível em 1 % [22]. Por motivos de segurança e ambientais, a combustão deve sempre decorrer numa atmosfera com pelo menos 5 % de excesso de ar [6].

### **Uso de isolamentos térmicos mais eficazes e substituição de isolamentos danificados**

A diferença de temperatura entre o interior do forno e do ambiente determina as perdas de energia por condução. Dado que os isolamentos térmicos se degradam ao longo do tempo, devem ser implementados programas de inspecção, manutenção e substituição dos mesmos. Um isolamento correcto pode economizar até 10 % do combustível utilizado para gerar a energia térmica transportada pela tubagem [6].

Existem outras medidas a considerar com vista ao aumento da eficiência energética nos fornos. São elas:

- ✓ Controlar a quantidade e a dosagem das matérias-primas;
- ✓ Efectuar uma manutenção adequada dos isolamentos e reparar as fugas;
- ✓ Inspeccionar e proceder à manutenção dos fornos e dos queimadores;
- ✓ Verificar os sistemas de controlo de combustão;
- ✓ Programar as cargas de modo a evitar abrir sempre a porta do forno, pois isso influencia as perdas de calor através de portas e aberturas.

### 6.9.2. Linha de pintura

Como já foi verificado pelos gráficos de consumo de energia na linha de pintura existe um padrão de consumo de energia eléctrica ao longo do tempo, sem grandes picos de consumo que pudesse, de alguma forma, suscitar algumas dúvidas quanto ao bom funcionamento no sistema de utilização de energia. Contudo, existe algum desperdício de energia, quantificado na tabela 12, associado ao consumo de energia eléctrica nos períodos sem produção. Sugere-se, portanto, uma verificação a todos os equipamentos que necessitam dessa energia residual de modo a perceber se estão a consumir mais do que o necessário para assegurar as suas funções nos períodos de *stand-by*.

O mesmo se sucede com o consumo de energia térmica nesta linha: assegurar que é desligada a alimentação de gás natural nos períodos sem produção.

O processo de pintura é um processo com grandes consumos energéticos, não sendo um processo muito eficiente; os consumos de energia não se podem ajustar às necessidades de produção, pois independentemente do número de unidades produzidas o consumo energético é sempre aproximadamente o mesmo, ou seja, o processo não tem flexibilidade.

### 6.9.3. Central de ar comprimido

Os quatro compressores existentes na empresa utilizam variadores electrónicos de velocidade e, por isso, já estão adaptados às variações de consumo através do ajuste da velocidade do compressor em função das exigências de pressão do sistema em determinado

momento, trabalhando, portanto, mais eficientemente. Contudo, as fugas de ar comprimido existentes fazem com que os compressores produzam mais energia do que a necessária para assegurar o funcionamento de todos os equipamentos utilizadores desta forma de energia, portanto, a medida de eficiência energética mais importante a adoptar é a eliminação das fugas de ar comprimido.

Outras medidas de cariz importante para assegurar o bom funcionamento do compressor é assegurar que todos os equipamentos pneumáticos trabalhem a uma pressão mínima para garantir a alta produtividade, pois quanto maior for a pressão maior é o custo energético [21].

## 7. RESULTADOS EXPECTÁVEIS DE IMPLEMENTAÇÃO DAS MEDIDAS PROPOSTAS

De seguida são apresentados os resultados possíveis alcançados na empresa, caso as medidas propostas no ponto anterior venham a ser postas em prática.

Para todos os cálculos foram utilizados os seguintes valores:

- ✓ Preço da energia eléctrica na Bosch Termotecnologia: 0.093 € por kWh consumido;
- ✓ Preço do metro cúbico de ar na empresa: 0.012 €;
- ✓ Um dia de trabalho corresponde a 15 horas (dois turnos de 8 horas cada, excluindo 1 hora para almoço).

Um dado muito importante para a realização deste trabalho é a energia gasta por metro cúbico de ar comprimido produzido na empresa. Para isso, utilizou-se o contador de ar comprimido existente na central dos compressores e o contador do quadro eléctrico que alimenta os quatro compressores. Num rigoroso período de cinco minutos, com a ajuda de um colaborador, foram feitas leituras nos dois contadores precisamente ao mesmo tempo. Fez-se uma média do consumo de ar comprimido nesse período de tempo assim como uma média do consumo eléctrico para produzir esse ar comprimido.

Vejamos um exemplo de uma das medições, que se efectuou das 12h às 12h05:

Média do consumo de ar comprimido: 440 l/s

Consumo de electricidade para produzir esses 440 l/s: 17,6 kWh

Então:

$$\text{Consumo} = 0.440 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 60 \frac{\text{s}}{1 \text{ min}} \times 5 \frac{\text{min}}{1 \text{ h}} = 132 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Assim: } \frac{17.6}{132} = 0.133 \text{ kWh/m}^3$$

Foram feitos sete ensaios exactamente com o mesmo procedimento; a média obtida é o valor utilizado em todos os cálculos para determinar o consumo em termos de energia eléctrica. A média final obtida foi de 0,133 kWh por 1 m<sup>3</sup> produzido. As medições foram

feitas em diversos períodos do dia: em pleno trabalho, na hora de pausa para pequeno-almoço e perto do fim de turno. Apesar de os consumos diminuírem com as pausas na laboração, a razão de consumo é praticamente a mesma.

### 7.1. Medida 1 – Aplicação de válvula de corte em todas as rebitadoras existentes na fábrica

Para este estudo foi considerado um dos piores cenários, no qual as rebitadoras apenas são desligadas aos fins-de-semana, na semana de paragem para férias de Natal e em todos os feriados de 2011. Ou seja, trabalham 241 dias por ano e 24 horas por dia, totalizando 5 784 horas em que há um constante fluxo de ar, à pressão da rede, 6 bar. Esta situação não se afasta muito da realidade porque foi verificado que a maioria das secções fica com a válvula de seccionamento de ar comprimido ligada, depois de o turno terminar, perfazendo as 24 horas.

Para contabilizar o consumo de ar comprimido numa rebitadora utilizou-se um caudalímetro de ar o qual regista o caudal de ar que passa através do aparelho. Durante cinco minutos o caudal médio obtido foi de 96,3 l/min.

Na tabela 19 está quantificado o consumo diário e anual de ar comprimido, energia associada, custos e emissões de CO<sub>2</sub> para uma rebitadora.

**Tabela 19. Situação actual para 1 rebitadora enquanto debita continuamente ar.**

Rebitadora/ Período		Consumo de ar (m <sup>3</sup> )	Consumo de energia (kWh)	Custos (€)	Emissões de CO <sub>2</sub> (ton)
1	Diário	138.7	18.4	1.7	0.008
	Anual	33 420.0	4 444.9	413.4	1.9

Os valores apresentados na tabela foram obtidos do seguinte modo:

$$\text{Consumo de ar} = 96.3 \frac{\text{l}}{\text{min}} \times (24\text{h} \times 60 \text{ min}) = 138\,672 \text{ l} = 138.7 \text{ m}^3$$

Considerou-se as 24 horas de trabalho por dia. O valor anual foi obtido do mesmo modo considerando os 241 dias de trabalho anual.

Em termos de consumo de energia eléctrica e tendo em conta a razão 0.133 kWh/m<sup>3</sup> tem-se:

$$\text{Consumo energético} = 0.133 \text{ kWh} \times 138.7 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} = 18.4 \text{ kWh/dia}$$

Sabendo que o kWh custa 0.093 €, o custo diário associada a uma rebitadora é:

$$\text{Custo} = 18.4 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \times 0.093 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 1.71 \text{ €/dia}$$

Por último, para quantificar as emissões de CO<sub>2</sub> associadas a uma rebitadora utilizou-se o calculador de CO<sub>2</sub> da Bosch, demonstrado na figura 29, com base no tipo e consumo de energia eléctrica.

A tabela seguinte representa a situação actual na empresa, em que as 18 rebitadoras que debitam continuamente ar e a situação prevista caso a medida de aplicação de válvula de corte for adoptada.

**Tabela 20. Implementação da medida proposta. Cenário para as 18 rebitadoras.**

Rebitadora/ Período		Consumo de ar (m <sup>3</sup> )	Consumo de energia (kWh)	Custos (€)	Emissões de CO <sub>2</sub> (ton)
Situação actual	Diário	2 496.6	333.3	31.0	0.1
	Anual	601 560.0	80 521.0	7 488.5	33.5
Com válvula de corte	Diário	16.0	2.1	0.2	0.001
	Anual	3 856.0	512.8	47.7	0.2
Poupança anual com válvula de corte		597 704.0	80 008.2	7 440.8	33.3

Pela tabela 20 verifica-se claramente que a situação actual necessita urgentemente de uma intervenção rápida, dada a diferença descomunal entre a situação ideal de trabalho das rebitadoras e o que se passa actualmente. Aplicando a válvula de corte nas rebitadoras estas passam a consumir ar apenas durante o momento de rebitagem. A poupança que esta medida traz, como se pode verificar, representa praticamente todo o consumo das actuais rebitadoras.

A situação actual apresentada na mesma tabela representa não só o problema da constante perda de ar mas também o consumo das rebitadoras quando são utilizadas, ou seja, os valores que se esperam obter aquando da aplicação da válvula de corte. Esse valores foram obtidos com base nas características técnicas das rebitadoras, as quais indicam que o consumo de uma rebitadora é de 19.8 l/min, ou seja, 0.33 l/s, e com base num

levantamento efectuado às rebitadoras para determinar um número aproximado de utilizações diário e o tempo de rebitagem.

Foi feito um levantamento do número de rebites que uma rebitadora faz por dia. Ora, isto é muito complicado de determinar uma vez que não estamos a trabalhar com uma produção linear; varia consoante os aparelhos produzidos diariamente que, por sua vez, variam consoante um maior ou menor número de pedido de encomendas. Mesmo assim, procurou-se uma situação considerada habitual na empresa, isto é, mesmo com baixa na produção há a garantia que um mínimo de aparelhos é produzido diariamente. Assim, de acordo com as informações dos responsáveis da linha (número de aparelhos produzidos por dia e número de rebites que cada aparelho leva), considerou-se que cada rebitadora faz diariamente 1105 rebites.

$$\text{Tempo de funcionamento} = 1105 \frac{\text{rebites}}{\text{dia}} \times 2.4 \text{ s} = 2\,652 \text{ s/dia}$$

Pelo cálculo acima indicado significa então que cada rebitadora funciona 2 652 segundos por cada dia de trabalho (dois turnos que correspondem a 15 horas).

$$\text{Consumo} = 2\,652 \frac{\text{s}}{\text{dia}} \times 0.33 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 875.2 \text{ l/dia} \approx 0.9 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Dado o consumo teórico da rebitadora e o seu tempo de funcionamento foi determinado então o seu consumo diário na empresa:  $0.9 \text{ m}^3/\text{dia}$ . Uma vez que este estudo contempla 18 rebitadoras tem-se o consumo total de:

$$\text{Consumo total} = 0.9 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 18 \text{ rebitadoras} = 16 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

$$\text{Consumo eléctrico total} = 16 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 0.133 = 2.1 \text{ kWh/dia}$$

Em termos de energia eléctrica as 18 rebitadoras consomem 2.1 kWh por dia, apenas quando estão no processo de rebitagem, tendo um custo de 0.2 euros por dia, como se pode verificar pela equação seguinte.

$$\text{Custo total} = 2.1 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \times 0.093 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = 0.2 \text{ €/dia}$$



A este consumo eléctrico está associada a emissão de 0.001 toneladas de CO<sub>2</sub> por dia, ou seja, apenas 1 kg deste poluente é libertado para a atmosfera, valor determinado através do calculador de CO<sub>2</sub> da Bosch (fig. 33).

Os valores anuais foram obtidos do mesmo modo mas para um período de 241 dias, como já foi referido.

Por último, calculou-se também o período de retorno do investimento ou *payback* (PB) de forma a verificar se esta medida tem, em termos económicos, interesse à empresa. O *payback* entra com o capital investido e o capital que se ganha anualmente ou *cashflow*. Foi consultado um fornecedor de uma empresa externa para dar um orçamento completo para a aplicação da válvula de corte. De acordo com o mesmo, cada válvula a aplicar tem um preço unitário de 250 €, custo que engloba a válvula e o tempo gasto para a realização do trabalho. Assim sendo, para as 18 rebitadoras e sabendo que se pode poupar anualmente com esta medida 7 440.8 € tem-se:

$$PB = \frac{\text{Capital investido}}{\text{Cashflow anual}} = \frac{(18 \times 250)}{7440.8} = 0.6 \text{ anos} \approx 7 \text{ meses}$$

Este *payback* é muito baixo e por isso traduz-se em mais um indicativo de que se trata de uma óptima medida a aplicar na empresa.

Por outro lado, se se optar por realizar este trabalho com pessoal da empresa, o custo representa apenas o preço da válvula que, de acordo com o armazém da empresa, custa apenas 25 €. Contudo, é necessário disponibilidade por parte do pessoal especializado, podendo condicionar o trabalho; foi por isso que recorri à opção de contactar uma empresa externa. De qualquer modo, é apresentado o *payback* para esta situação que, dado que se trata de investimento mais baixo, naturalmente que este período de retorno é ainda melhor que o apresentado anteriormente, como se pode verificar no cálculo seguidamente demonstrado.

$$PB = \frac{(18 \times 25)}{7440.8} = 0.1 \text{ ano} \approx 1 \text{ mês}$$

Uma vez justificados os cálculos, podemos então concluir que as rebitadoras, no seu conjunto, não têm um consumo muito elevado. Contudo, a sua particularidade de desperdício de energia sob a forma de ar comprimido tornam estes equipamentos numa situação extraordinária de ineficiência energética na empresa. Esta é uma medida por excelência a pôr em prática no mais curto prazo possível. Além disso como o investimento inicial não é muito elevado (4 500 ou 450 €, dependendo de quem realiza o trabalho) o tempo de retorno desse investimento também é muito baixo.

## 7.2. Medida 2 – Substituição de rebitadoras pneumáticas por rebitadoras eléctricas

Para o estudo de viabilidade desta medida pretendeu-se comparar o consumo das rebitadoras pneumáticas com o das rebitadoras eléctricas, assim como os custos e as emissões de CO<sub>2</sub> associados. Foram consultadas as características técnicas das rebitadoras eléctricas, através das quais se obteve a informação de que para rebites de alumínio de 4 mm está associado uma intensidade de 1.3 A para 800 rebites. Sabe-se também que funcionam a uma tensão de 12 V.

A tabela seguinte mostra os resultados obtidos para o estudo das rebitadoras eléctricas.

**Tabela 21. Implementação da medida proposta. Cenário para as 20 rebitadoras existentes na fábrica.**

Rebitadora/ Período		Consumo de energia (kWh)	Custos (€)	Emissões de CO <sub>2</sub> (ton)
Pneumática, situação actual	Diário	333.3	31.0	0.1
	Anual	80 521.0	7 488.5	33.5
Eléctrica, situação prevista	Diário	0.4	0.04	0.0002
	Anual	96.4	9.0	0.04
Poupança anual com substituição da rebitadora		80 424.6	7 479.5	33.5

Pela tabela 21 verifica-se que dada a situação actual das rebitadoras pneumáticas na empresa, com a constante saída de ar, a adopção da utilização de rebitadoras eléctricas poderá vir a constituir uma boa solução.

A utilização de rebitadoras eléctricas ainda não é uma prática comum nas empresas, pelo que não foi encontrada muita informação a respeito. Uma informação que seria útil para este estudo seria o tempo que este equipamento demora a fazer um rebite; contudo, não foi

encontrado qualquer valor. Também a empresa fornecedora de rebitoras eléctricas não foi capaz de fornecer estes valores, pelo que se optou por utilizar o mesmo tempo de rebite de uma rebitoras pneumática, os 2.4 segundos por rebite. Também se considerou os 1 105 rebites por rebitoras diariamente. Desse modo, cada rebitoras trabalha 2 652 segundos por cada dia de trabalho, o que equivale a 0.7 horas.

Dado o seu consumo teórico tem-se:

$$\text{Consumo} = \frac{(1.3 \text{ A} \times 1105 \text{ rebites})}{800 \text{ rebites}} = 1.8 \text{ A}$$

Este valor corresponde ao consumo para produzir 1 105 rebites. Em termos eléctricos sabe-se, pela fórmula da potência eléctrica, que:

$$\begin{aligned} \text{Potência} &= \text{Tensão} \times \text{Intensidade da corrente} \\ &= 12 \text{ V} \times 1.8 \text{ A} = 21.6 \text{ W} \end{aligned}$$

Vejamos agora o consumo da rebitoras para um dia de trabalho:

$$\text{Consumo} = 21.6 \text{ W} \times 0.7 \text{ h} = 15.1 \text{ Wh} = 0.02 \text{ kWh} / \text{dia de trabalho}$$

Tem-se portanto para as 20 rebitoras (incluindo as duas que já têm a válvula de corte):

$$\text{Consumo} = 0.02 \times 20 = 0.4 \text{ kWh/dia}$$

$$\text{Custo} = 0.4 \times 0.093 = 0.04 \text{ €/dia}$$

As emissões de CO<sub>2</sub> foram obtidas pelo já conhecido calculador de CO<sub>2</sub> da Bosch. Por sua vez os valores anuais tendo em conta os 241 dias por ano de produção.

À semelhança do que foi feito para as rebitoras pneumáticas, também foi determinado o *payback* para as eléctricas:

$$\text{PB} = \frac{(20 \times 884.68)}{7480.07} = 2.4 \text{ anos}$$

Olhando para a tabela 19 concluiríamos que a utilização deste tipo de rebitoras na empresa seria uma mais-valia, dado o seu baixíssimo consumo comparativamente com o consumo das actuais rebitoras a ar comprimido. No entanto, o período de retorno do

investimento possivelmente fará colocar de parte esta medida, dado o seu elevado investimento inicial, de 17 693.6 €.

### **7.3. Medida 3 – Substituição de aparafusadoras pneumáticas por aparafusadoras eléctricas**

Como foi referido anteriormente na apresentação desta medida, o aparafusamento com uma aparafusadora eléctrica é mais rápida que o aparafusamento com uma pneumática em 1.12 segundos.

Tendo em conta que um turno trabalha 26 400 segundos, isto é, sete horas e meia menos o intervalo de dez minutos, e considerando que o mesmo turno produz 1000 peças, obtém-se uma ordem de 26,4 segundos por peça. Se a este valor lhe for retirado o tempo ganho com a aparafusadora eléctrica, de 1.12 segundos, esta razão passa a ser 25.28 segundos por peça. No tempo normal de funcionamento do turno, 26 400 segundos, o novo valor leva à produção de 1045 peças, ou seja, mais 45 peças por apenas menos 1 segundo no tempo de aparafusamento por um destes equipamentos eléctricos. Isto significa, portanto, que em termos de produção as eléctricas são mais eficazes que as pneumáticas.

Pelo levantamento dos pontos de consumo de ar comprimido efectuado (fig. 32), registou-se um total de 253 aparafusadoras pneumáticas. Contudo, nem todas estão em constante laboração, sendo apenas utilizadas esporadicamente, como por exemplo nas secções da fabricação. Mas mais importante é ter em conta o momento de aperto das aparafusadoras pneumáticas. Como este estudo foi feito para aparafusadoras eléctricas até 3.5 Nm de aperto, as aparafusadoras pneumáticas que estas podem substituir têm que possuir momentos de aperto até 2.5 Nm. Foi feito um levantamento dos momentos de aperto de todas as aparafusadoras e, com isto, conclui-se que só 74 podem ser substituídas pelas eléctricas em estudo.

É de referir que aparafusadoras com momentos de aperto superior a 2.5 Nm também podem ser substituídas; contudo, as suas eventuais substitutas eléctricas são muitíssimo mais caras do que as eléctricas em causa neste estudo, para além de terem também especificidades diferentes.

A tabela 20 mostra os resultados obtidos para este estudo detalhado. Entretanto, vejamos como se alcançaram esses resultados.

Considerou-se 241 dias de trabalho num ano, tendo-se-lhe excluído todos os feriados semanais de 2011, fins-de-semana (considerando que não há produção) e férias de Natal.

Vejamos o consumo eléctrico destes dois equipamentos, tendo em conta que numa hora são produzidas 125 peças por cada tipo de aparafusadora (valores registados na secção em estudo após contagem do número de peças produzidas).

### **Aparafusadora pneumática:**

De acordo com as características técnicas da aparafusadora pneumática, o seu consumo é de 12 litros por segundo [11].

$$\text{Consumo} = 12 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 0.012 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 43.2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Também na secção de estudo se cronometrou o tempo de aparafusamento de uma peça: 3.81 segundos. Assim consegue-se determinar o seu tempo de funcionamento numa hora e num dia de trabalho (15 horas):

$$\text{Tempo} = 3.81 \frac{\text{s}}{\text{peça}} \times 125 \text{ peças} = 476.25 \text{ s} = 0.13 \text{ h}$$

$$\text{Tempo de trabalho} = 0.13 \text{ h} \times 15 \frac{\text{h}}{\text{dia}} = 1.95 \frac{\text{h}}{\text{dia de trabalho}}$$

Tendo em conta o seu consumo teórico sabe-se que:

$$\text{Consumo} = 43.2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 1.95 \frac{\text{h}}{\text{dia de trabalho}} = 84.24 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

Considerando as razões  $0.133 \text{ kWh/m}^3$  e  $0.093 \text{ €/kWh}$ , tem-se:

$$\text{Consumo eléctrico} = 84.24 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 0.133 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} = 11.2 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}}$$

$$\text{Custos} = 11.2 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \times 0.093 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 1.04 \frac{\text{€}}{\text{dia}}$$

As emissões de CO<sub>2</sub> foram obtidas pelo calculador de CO<sub>2</sub> da empresa, de acordo com o consumo eléctrico da aparafusadora.

Estes cálculos referem-se apenas a 1 equipamento. Para os resultados finais, multiplicaram-se estes valores por 74 (número de aparafusadoras) e 241 dias (para determinar o valor anual).

### **Aparafusadora eléctrica:**

Compilando o que já foi referido anteriormente, para esta aparafusadora tem-se os seguintes dados:

- Tempo para produzir uma peça: 2,69 segundos (tabela 15);
- Número de peças produzidas numa hora: 125 (a mesma peça é aparafusada pelos dois tipos de aparafusadora);
- De acordo com as suas características técnicas, a potência máxima é de 360 W.

Para aparafusar 125 peças a aparafusadora despende de 336 segundos, ou seja, 0,09 horas; em 15 horas de trabalho funciona 1,4 horas (cálculo obtido do mesmo modo do da aparafusadora pneumática).

Sabendo a potência e o seu tempo de funcionamento tem-se o seguinte consumo eléctrico para os 74 aparelhos:

$$\begin{aligned} \text{Consumo} &= \text{potência} \times \text{tempo} \\ &= 360 \times 1.4 \\ &= 504 \text{ Wh} = 0.504 \text{ kWh} \approx 0.5 \text{ kWh/dia} \quad (1 \text{ aparafusadora}) \end{aligned}$$

$$\text{Consumo} = 0.5 \times 74 = 37.0 \text{ kWh/dia}$$

Este consumo representa um custo de:

$$\text{Custo} = 0.5 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \times 0.093 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 0.05 \text{ €/dia} \quad (1 \text{ aparafusadora})$$

$$\text{Custo} = 0.05 \times 74 = 3.7 \text{ €/dia}$$

Vejamos agora o cenário para um ano de trabalho (241 dias) e para as 74 aparafusadoras:

$$\text{Consumo} = 37.0 \times 241 = 8917.0 \text{ kWh/ano}$$

$$\text{Custo} = 3.7 \times 241 = 891.7 \text{ €/ano}$$

Olhemos então para a tabela seguinte, onde se encontram os resultados detalhados deste estudo.

**Tabela 22. Comparação entre os dois tipos de aparafusadoras. Cenário para as 74 aparafusadoras.**

Aparafusadora/ período		Consumo de energia (kWh)	Custos (€)	Emissões de CO <sub>2</sub> (ton)
Pneumática, situação actual	Diário	828.8	77.0	0.3
	Anual	199 740.8	18 557.0	72.3
Eléctrica, situação prevista	Diário	37.0	3.7	0.01
	Anual	8 917.0	891.7	4.0
<b>Poupança anual</b>		<b>190 823.8</b>	<b>17 665.3</b>	<b>68.3</b>

Ao observar a tabela 22 facilmente se chega à conclusão que a aparafusadora eléctrica possui uma eficiência energética superior à sua homóloga pneumática. A energia eléctrica que se pode poupar assim como as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera que também seriam evitadas, contribuindo para o objectivo Bosch de reduzir estas emissões, assim como para uma melhoria no sistema produtivo (através uma execução mais rápida nas operações com as aparafusadoras eléctricas), tornam esta medida viável dos pontos de vista energético, ambiental e operacional.

Ao comparar estes resultados com a literatura existente, nomeadamente um estudo efectuado por uma outra empresa do Grupo Bosch, verifica-se que são valores muito aceitáveis. Os valores que se poupam em energia e emissões de CO<sub>2</sub> com a utilização de uma aparafusadora eléctrica representam 95.5 % e 97.6 %, respectivamente. No estudo efectuado por uma outra empresa esta utilização representa uma redução de 98.3 % no consumo de energia e em emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera [23],

$$PB = \frac{(74 \times 1122)}{17665.3} = 4.7 \text{ anos}$$

Porém, ao olharmos para o *payback* desta medida, no cálculo acima apresentado, afasta um pouco a possibilidade de aquisição deste tipo de aparafusadoras. Apesar de a poupança anual de custos ser muito significativa, as aparafusadoras eléctricas são muito caras, agravando o investimento inicial, fazendo com que o tempo de retorno do investimento seja muitíssimo elevado que, por sua vez, torna esta medida pouco interessante do ponto de vista económico.

#### 7.4. Medida 4 – Aplicação de válvulas de corte nos aparelhos utilizados para a realização de testes de estanquicidade – ATEQ's

Como já foi dito na apresentação desta medida, os ATEQ's estão a consumir cerca de 290 l/min. Efectuados os cálculos, considerando que os equipamentos debitam ar 24 horas por dia e 241 dias por ano, obtiveram-se os seguintes resultados:

$$\text{Consumo diário} = 290 \frac{\text{l}}{\text{min}} \times 60 \text{min} \times 24 \text{h} = 417600 \frac{\text{l}}{\text{dia}} = 417.6 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

$$\text{Consumo anual} = 417.6 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 241 \text{ dias} = 100641.6 \frac{\text{m}^3}{\text{ano}}$$

Em termos de energia eléctrica, considerando a razão 0.133 kWh/m<sup>3</sup>, vem:

$$\text{Consumo diário} = 417.6 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 0.133 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} = 55.1 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}}$$

$$\text{Consumo anual} = 55.1 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \times 241 \text{ dias} = 13279.1 \frac{\text{kWh}}{\text{ano}}$$

Este consumo de energia eléctrica representa os seguintes custos:

$$\text{Custo diário} = 55.1 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \times 0.093 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 5.1 \frac{\text{€}}{\text{dia}}$$

$$\text{Custo anual} = 5.1 \frac{\text{€}}{\text{dia}} \times 241 \frac{\text{dias}}{\text{ano}} = 1229.1 \frac{\text{€}}{\text{ano}}$$



A tabela seguinte resume os resultados obtidos.

**Tabela 23. Situação actual dos 15 ATEQ's na empresa.**

Situação de carácter urgente a alterar	Período	Consumo de ar (m <sup>3</sup> )	Consumo de energia (kWh)	Custos (€)	Emissões de CO <sub>2</sub> (ton)
ATEQ's	Diário	417.6	55.1	5.1	0.02
	Anual	100 641.6	13 279.1	1 229.1	5.5

Olhando para a tabela 23 constata-se que, à semelhança do que se passa com as rebitadoras, existe um enorme desperdício de energia que, ao fim de um ano de trabalho, representa valores muito significativos.

Para determinar o *payback* deste investimento, consultou-se um colaborador de uma empresa externa, o qual orçamentou todo o trabalho de incorporação de válvulas nos ATEQ's, o qual inclui a alteração de circuito pneumático, a instalação de válvulas de corte, a alteração da programação existente e a instalação de expansões em alguns casos.

Apresentar-se-ão de seguida dois *payback*'s para o caso de se optar por instalar um sistema de válvulas de arranque brusco (1) ou um de arranque progressivo (2).

$$PB1 = \frac{2963.0}{1229.1} = 2.4 \text{ anos} \qquad PB2 = \frac{4328.0}{1229.1} = 3.5 \text{ anos}$$

Como se pode verificar, os tempos de retorno do investimento são relativamente elevados, o que dificulta a adopção desta medida. Contudo, há que ter em conta, uma vez mais, que é necessário tomar medidas de eficiência energética para alcançar os objectos do Grupo Bosch em reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> e, 6 toneladas de dióxido de carbono é quanto se poderá evitar de enviar para a atmosfera, caso estas válvulas de corte venham a ser incorporadas nos ATEQ's e evitar que debitem ar quando não estão a ser utilizados.

## 7.5. Medida 5 – Aplicação de redutores de pressão nas pistolas de ar comprimido

Num universo de muitas pistolas, estas foram divididas consoante a sua utilização. Para esta medida foram seleccionadas 14, todas elas com utilização frequente e servem principalmente para limpar limalhas e alguns óleos que vêm com as peças. Elas são

indispensáveis no trabalho dos operadores mas, no entanto, não necessitam de muita pressão para executar o trabalho sujeitando, por vezes, o operador a correr algum risco; ao soprar a peça a limalha pode sair disparada e atingir o operador na cara. Razão pela qual muitas vezes este trabalho de limpeza de limalhas é realizado dentro de uma cabine.

Para estudar a viabilidade desta medida foram escolhidas três situações em que se utilizavam as pistolas para soprar peças e fez-se uma média do tempo que demora a limpar uma peça. Em média demora 2.48 segundos.

Para determinar o número de vezes que cada pistola é utilizada por dia (tarefa praticamente impossível!) utilizou-se o número de peças e ou aparelhos que é produzido por dia, numa situação típica, sabendo que, em alguns casos, a peça precisa de ser limpa. Os dados sobre a produção foram obtidos através dos responsáveis de secção. Cada secção é um caso e por isso, tendo em conta o número de pistolas de cada secção já referido na apresentação desta medida, sabe-se que:

Na secção 856 produzem-se no mínimo 2 400 peças; são pois turnos que utilizam a mesma pistola, portanto 4 800 peças produzidas.

Na secção 856 – teclas saem 100 peças por dia.

Na secção 851 saem 2000 peças por dia.

Na secção 843 não foi possível quantificar; a utilização das pistolas é muito variada.

No total são 6 900 peças. Supor-se-á que 40 % destas peças utiliza a pistola de ar comprimido, o que corresponde a 2 760 peças.

Vejamos agora os cálculos efectuados para caracterizar quantitativamente esta medida.

Para os cálculos utilizou-se um programa da empresa “smc”, disponível *online*, o *Energy saving program* que, entre outras aplicações, serve para calcular fugas de ar comprimido e consumo de pistolas de ar comprimido (figuras 40 e 41).

$$\text{Tempo} = 2.48 \frac{\text{s}}{\text{peça}} \times 2760 \text{ peças} = 6844.8 \text{ s} = 1.9 \text{ h}$$

$$\text{Tempo por dia de trabalho} = 1.9 \text{ h} \times 15 \text{ h} = 28.5 \frac{\text{h}}{\text{dia}}$$

De acordo o programa “smc”, para a pressão de 6 bar (pressão de rede) e para um diâmetro do bocal da pistola de 2 mm e para a distância de 80 mm de bocal até ao objecto que se pretende soprar, obteve-se o consumo de ar em metros cúbicos.

Os cálculos para determinar a energia eléctrica consumida, assim como os custos associados foram obtidos pelo modo já introduzido anteriormente nas outras medidas; o processo é sempre o mesmo. Pelo mesmo programa sabe-se também que, nas mesmas condições, tendo em conta o tempo de funcionamento do aparelho, a redução de pressão de 6 para 3 bar representa uma redução no consumo de 57 %. Os resultados encontram-se na tabela seguinte.

**Tabela 24. Cenário actual e previsto para as pistolas com a adaptação da medida proposta.**

Situação	Consumo de ar (m <sup>3</sup> /ano)	Consumo de energia (kWh/ano)	Custos (€/ano)	Emissões de CO <sub>2</sub> (ton/ano)
Pistola a 6 bar	93 012.0	13 248.0	1 104.0	5.5
Pistola a 3 bar	53 016.5	8 551.4	629.3	3.1
<b>Poupança anual</b>	<b>39 995.5</b>	<b>4 696.6</b>	<b>474.7</b>	<b>2.4</b>

Pela tabela 24 verifica-se que ainda há uma poupança significativa ao aplicar o redutor de pressão nas pistolas referidas. Para além disso consegue-se evitar que cerca de 2 toneladas de CO<sub>2</sub> sejam emitidas para a atmosfera, contribuindo para o objectivo principal.

Comprova-se assim que a diminuição da pressão nos equipamentos pneumáticos leva a uma redução no consumo de energia [21].

Por fim calculou-se o *payback* desta medida. De acordo com o armazém da Bosch, o preço de um redutor de pressão é de 9 euros, assim:

$$PB = \frac{(14 \times 9)}{474.7} = 0.3 \text{ anos} \approx 4 \text{ meses}$$

Como se pode constatar, estamos perante uma medida muito boa para a qual não necessita de um grande investimento e o mesmo é recuperado em muito pouco tempo.

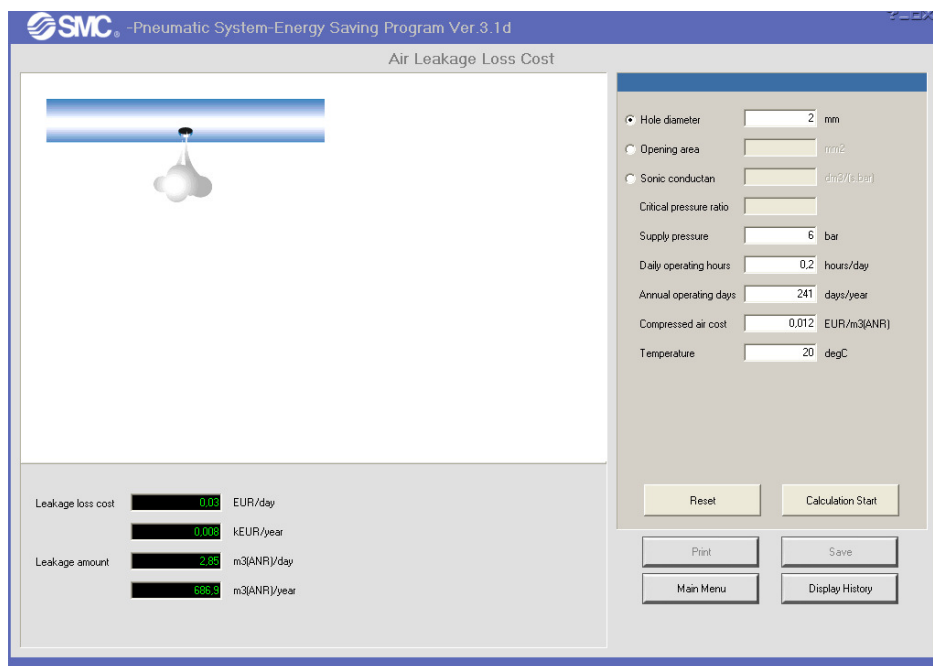
## 7.6. Medida 6 – Substituição das actuais pistolas de ar comprimido por pistolas economizadoras de energia, com redutor de pressão

Esta medida trata, por fim, a substituição total das pistolas existentes por outras de tecnologia VNG. Esta pistola foi especificamente desenvolvida para oferecer um desempenho excepcional com um menor consumo de energia. O desenho patenteado da válvula reduz o consumo de energia até 20 % sem minimizar o desempenho da pistola [18]. À pressão de 6 bar confirmou-se que a força de impacto destas pistolas é muito superior à das actuais pistolas da empresa sabendo, à partida, que a redução do consumo energético é garantido. Foram realizados cálculos para confirmar esta afirmação.

Nesta situação existem 120 pistolas e, em média, cada uma demora cerca de 3.7 segundos a soprar uma peça. Foi praticamente impossível saber quantas vezes a pistola é utilizada por dia, daí supôs-se que, dada a sua grande frequência de utilização, ela funciona 50 vezes por dia. Assim, o número de utilizações total das pistolas é 6000 e o tempo de utilização de uma pistola num dia de trabalho (15 horas) é:

$$\begin{aligned}\text{Tempo} &= \frac{3.7}{3600} = 1.03E-3 \text{ h} \\ &\times 15 \text{ h} = 0.02 \text{ h/dia de trabalho}\end{aligned}$$

Os dados obtidos foram introduzidos no calculador da “smc”, representado na figura 43.



**Figura 43. Calculador utilizado para o cálculo das pistolas.**

Obteve-se um consumo diário por pistola de  $0.3 \text{ m}^3$ . Assim, tendo em conta as 6000 utilizações e os 241 dias de trabalho por ano, assim como as razões de consumo eléctrico de  $0.133 \text{ kWh/m}^3$  e custos de  $0.093 \text{ €/kwh}$ , chegou-se aos resultados apresentados na tabela seguinte, para a pressão de rede de 6 bar.

**Tabela 25. Resultados alcançados para esta medida.**

Situação	Consumo de ar ( $\text{m}^3/\text{ano}$ )	Consumo de energia ( $\text{kWh}/\text{ano}$ )	Custos ( $\text{€}/\text{ano}$ )	Emissões de $\text{CO}_2$ ( $\text{ton}/\text{ano}$ )
Pistola a 6 bar	433 800.0	57 600.0	5 400.0	28.8
Pistola a 4 bar	303 660.0	40 320.0	3 780.0	20.2
<b>Poupança anual</b>	<b>130 140.0</b>	<b>17 280.0</b>	<b>1 620.0</b>	<b>8.6</b>

Para determinar o consumo das pistolas a 4 bar, nas mesmas condições, utilizou-se outra componente do calculador da “smc”, mostrado nas figuras 44 e 45, a qual nos permitiu identificar a percentagem de redução de consumo de 6 para 4 bar. Posteriormente aplicou-se esse dado aos valores já calculados de consumo a 6 bar.

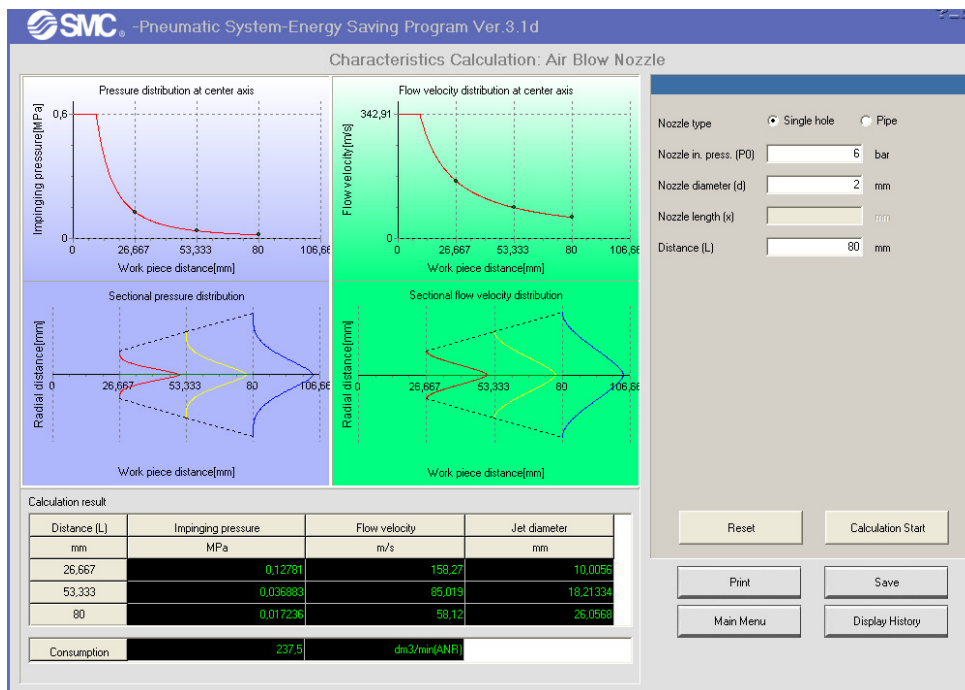


Figura 44. Resultados para 6 bar.

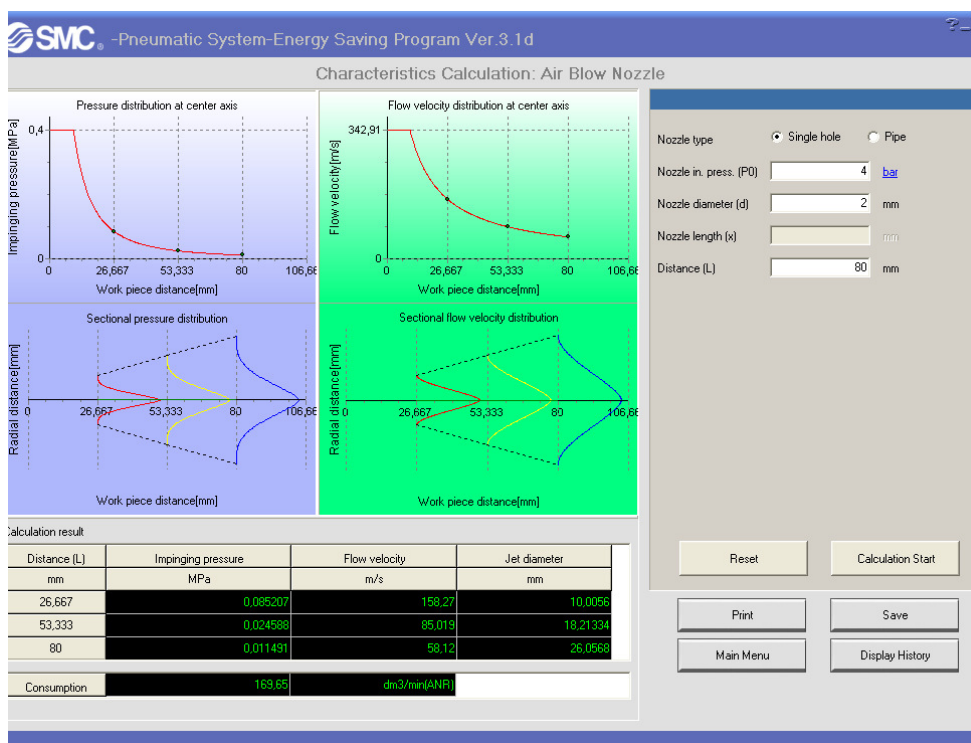


Figura 45. Resultado para 4 bar.

A 6 bar uma pistola consome  $237.5 \text{ dm}^3/\text{min}$  e a 4 bar consome  $169.65 \text{ dm}^3/\text{min}$ . Isto significa uma redução no consumo de cerca de 70 %.

Olhando para a tabela 25, depressa se confirma uma redução no consumo de energia utilizando as novas pistolas complementadas com um redutor de pressão. Neste padrão de consumo consegue evitar-se a emissão de quase 9 toneladas de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Por fim, sabendo que a pistola custa 21,55 € e o redutor 9 €, tem-se o seguinte *payback*:

$$PB = \frac{(120 \times 30.55)}{1620} = 2.3 \text{ anos}$$

Apesar de ter um *payback* um pouco elevado, esta medida ainda é viável do ponto de vista económico; geralmente o *payback* máximo aceitável é de 3 anos.

Existem ainda duas situações que foram consideradas individualmente por se tratarem de casos muito específicos. É o caso de 16 pistolas que são utilizadas com alguma frequência nas linhas finais (células 1, 2, 3 e 4) para limpeza de água nos aparelhos e para arrefecimento de uma peça – situação 1, e o caso de 1 pistola utilizada frequentemente para limpar todas as peças que saem da máquina *Seri*, na secção 851 – situação 2.

### **Situação 1:**

De acordo com uma colaboradora, nas células 1, 2 e 3 saem 2 480 aparelhos por dia, situação corrente no dia-a-dia. Por sua vez, na célula 4 saem 384 aparelhos por dia. No total saem destas células 2 864 aparelhos diariamente. Contudo, nem todos os aparelhos utilizam pistolas de ar comprimido. Estas servem essencialmente para limpar água e arrefecer uma peça dos aparelhos. Cada operação com a pistola leva, leva em média, 2.2 e 6 segundos, respectivamente. Estes tempos foram cronometrados de acordo com a utilização da pistola.

Segundo um operador, geralmente por dia utilizam a pistola cerca de 15 vezes para limpar água. Existem 32 operadores nestas quatro células nos dois turnos (4 operadores por célula). Em cada posto existe uma pistola e um operador; ou seja, 16 pessoas (mais 16 no outro turno) e 16 pistolas.

Como em cada posto a pistola é apenas usada 15 vezes, apenas 480 aparelhos utilizam-nas.

Assim tem-se:

$$\begin{aligned}\text{Tempo} &= \frac{2.2}{3600} = 16.1E-4 \text{ h} \\ &\times 15 \text{ h} = 9.2E-2 \text{ h/dia de trabalho}\end{aligned}$$

Os dados obtidos foram introduzidos no calculador da “smc”, representado na figura 39 e obteve-se um consumo por pistola de 0.14 m<sup>3</sup>/dia. Tendo em conta que são utilizadas 480 vezes, isto significa que o consumo total é de 67.2 m<sup>3</sup>/dia.

Por outro lado sabe-se que em cada aparelho é utilizada a pistola para arrefecer uma peça.

$$\begin{aligned}\text{Tempo} &= \frac{6}{3600} = 1.7E-3 \text{ h} \\ &\times 15 \text{ h} = 0.03 \text{ h/dia de trabalho}\end{aligned}$$

Pelo calculador da “smc” sabe-se cada pistola consome 0.6 m<sup>3</sup>/dia de trabalho. Tratam-se de 2 864 aparelhos logo, o seu consumo total é de 1 718.4 m<sup>3</sup>/dia.

Então, nestas 4 células temos o consumo das pistolas para arrefecer uma peça mais o consumo para limpar água. Assim, o consumo total nestas células pelas pistolas é:

$$\text{Consumo total} = 1718.4 + 67.2 = 1785.6 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Como já foi visto anteriormente, pelo calculador da “smc”, a redução da pressão de 6 para 4 bar reduz o consumo para 70 %. Aplicando esta razão aos valores para a pressão de 6 bar obtém-se o consumo da pistola a 4 bar. Os resultados podem ser visualizados na tabela 24.

## **Situação 2:**

Nesta situação temos 1 500 peças que são sopradas diariamente com a pistola, ou seja, 1500 utilizações. Em média, cada peça demora 2.48 segundos a ser soprada. Assim:

$$\begin{aligned}\text{Tempo} &= \frac{2.48}{3600} = 6.9E-4 \text{ h} \\ &\times 15 \text{ h} = 0.01 \text{ h/dia de trabalho}\end{aligned}$$



Introduzindo estes dados no calculador já conhecido obtém-se um consumo de 0.14 m<sup>3</sup>/dia. Tendo em conta que tem 1 500 utilizações, o seu consumo é igual a 210 m<sup>3</sup>/dia. Substituindo esta pistola por uma de tecnologia VNG e aplicando um redutor de pressão, baixando a pressão para 4 bar, consegue-se uma redução no consumo de 70 %. Os resultados encontram-se na tabela seguinte.

**Tabela 26. Resultados actuais (6 bar) e previstos nas duas situações específicas.**

Situação da pistola	Consumo de ar (m <sup>3</sup> /ano)		Consumo de energia (kWh/ano)		Custos (€/ano)		Emissões de CO <sub>2</sub> (ton/ano)	
	Situação 1	Situação 2	Situação 1	Situação 2	Situação 1	Situação 2	Situação 1	Situação 2
6 bar	430 310.4	50 550.0	71 326.4	7 200.0	6 492.8	600.0	28.5	3.0
4 bar	301 217.3	35 383.0	49 928.5	5 040.0	4 545.0	420.0	20.0	2.1
<b>Poupança anual</b>	<b>129 093.1</b>	<b>15 165.0</b>	<b>21 397.9</b>	<b>2 160.0</b>	<b>1 947.8</b>	<b>180.0</b>	<b>8.6</b>	<b>0.9</b>

Pela tabela 26 verifica-se que em ambas as utilizações é imprescindível a substituição das pistolas de ar comprimido. Consegue-se deste modo uma redução no consumo de energia contribuindo para o aumento da eficiência energética na empresa. O que se poupa anualmente é suficiente para justificar tal substituição. Vejamos o *payback* nas duas situações:

$$PB, \text{sit.1} = \frac{(16 \times 30.55)}{1947.8} = 0.3 \text{ anos} \approx 4 \text{ meses}$$

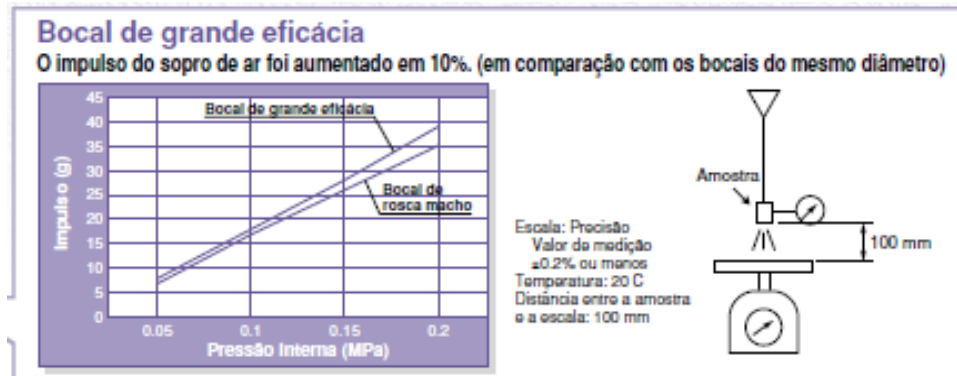
$$PB, \text{sit.2} = \frac{(30.55)}{180} = 0.2 \text{ anos} \approx 2 \text{ meses}$$

O investimento efectuado na compra das pistolas e dos redutores de pressão é muito rapidamente recuperado, concluindo-se, portanto, que a substituição destas pistolas e reduzindo a pressão de 6 para 4, é uma medida viável tanto do ponto de vista ambiental como do ponto de vista económico.

## 7.7. Medida 7 – Aplicação de bocais economizadores de energia nas actuais pistolas de ar comprimido

Esta medida, como já foi referido, aplica-se a pistolas de ar comprimido cuja aplicação é pouco regular mas necessitam de actual pressão para realizarem a sua função. Por isso

sugere-se que lhes seja aplicado um bocal economizador de energia “smc”, de grande eficiência cujo esquema se encontra na figura 46, complementado com um redutor de pressão.



**Figura 46. Esquema de um bocal de sopro de ar de grande eficácia, série KN [18].**

Em média, consoante diversas utilizações observadas, o tempo de uso de uma pistola, por operação, é de 3.7 segundos. Não foi possível quantificar o número de vezes que cada pistola é utilizada e, por isso, foi estimado um número de acordo com as informações dos responsáveis de secção. Assim, cada uma das 52 pistolas nestas circunstâncias é utilizada apenas 10 vezes por dia de trabalho. Assim, tendo em conta esta informação, pode determinar-se o tempo de trabalho total das 52 pistolas por dia. Atendamos os cálculos:

$$\text{Tempo de utilização} = 3.7 \frac{\text{s}}{\text{utilização}} \times (52 \text{ pistolas} \times 10 \text{ utilizações}) = 1924 \frac{\text{s}}{\text{dia}}$$

$$\text{Tempo de trabalho} = \frac{1924}{3600} = 0.5 \text{ horas} \times 15 \text{ horas de trabalho} = 7.5 \text{ h/dia}$$

Introduzindo os valores no calculador de energia, exposto na figura 47, obteve-se o consumo total de 106.9 m<sup>3</sup>/dia. Este calculador é mais orientado para o cálculo de fugas de ar, mas não há um calculador que em função do tempo de trabalho nos dê um consumo de energia, daí considerou-se a saída de ar pela pistola como uma “fuga”, com um diâmetro medido especificado.

Figura 47. Calculador de energia “smc” [18].

A tabela seguinte mostra os resultados alcançados com este estudo.

Tabela 27. Consumo actual das 52 pistolas e novo consumo após aplicação do novo bocal.

Situação	Consumo de ar (m <sup>3</sup> /ano)	Consumo de energia (kWh/ano)	Custos (€/ano)	Emissões de CO <sub>2</sub> (ton/ano)
Pistola a 6 bar	25 762.9	3 442.2	313.3	1.4
Redução de 18 %	21 125.6	2 822.6	256.9	1.1
<b>Poupança anual</b>	<b>4 637.3</b>	<b>619.6</b>	<b>56.4</b>	<b>0.3</b>

Olhando então para a tabela 27 constata-se que o que se poupa com esta medida é muito pouco mas mesmo assim tem um resultado positivo. Tendo em conta que os bocais podem representar uma redução no consumo de até 20 %, considerou-se uma redução de 18 % nas nossas pistolas.

$$PB = \frac{(52 \times 3)}{56.4} = 2.8 \text{ anos}$$

Por último calculou-se o *payback* desta medida. O valor obtido, aproximadamente 3 anos, representa muito tempo para amortizar o investimento inicial efectuado. Os bocais, segundo a empresa “smc” custam cerca de 3 euros mas o que se pode poupar anualmente é

pouco significativo. Claro está que este estudo cresceu muito em torno de aproximações quanto ao número de vezes que cada pistola é utilizada. Tentei também julgar por defeito todos os valores que foram aproximados para sempre podermos dizer que “no mínimo isto é o que se pode obter”.

## 7.8. Medida 8 – Outras medidas de optimização da utilização de ar comprimido

Neste ponto dar-se-á especial atenção ao perfil de consumo de ar comprimido na empresa que se pretende traçar: global e específico para uma secção. Como tal, será apresentada uma secção piloto para a qual será feito um conjunto de acções a pôr em prática.

Numa **visão global**, ao traçar o perfil de consumo de ar comprimido poder-se-á obter resultados muito interessantes do ponto de vista de consumo, os quais podem resultar como ponto de partida para um controlo eficaz de consumo de ar comprimido na empresa e, consequentemente, controlar os desperdícios associados ao seu consumo.

Dado que o controlador de ar comprimido (fig. 42), como já foi referido, só regista valores instantâneos, foi dedicado tempo, em dias normais de trabalho, a registar o seu consumo. Assim, pacientemente, em intervalos de quinze minutos registou-se o consumo instantâneo de ar comprimido na empresa. Vejamos os dois gráficos seguintes:

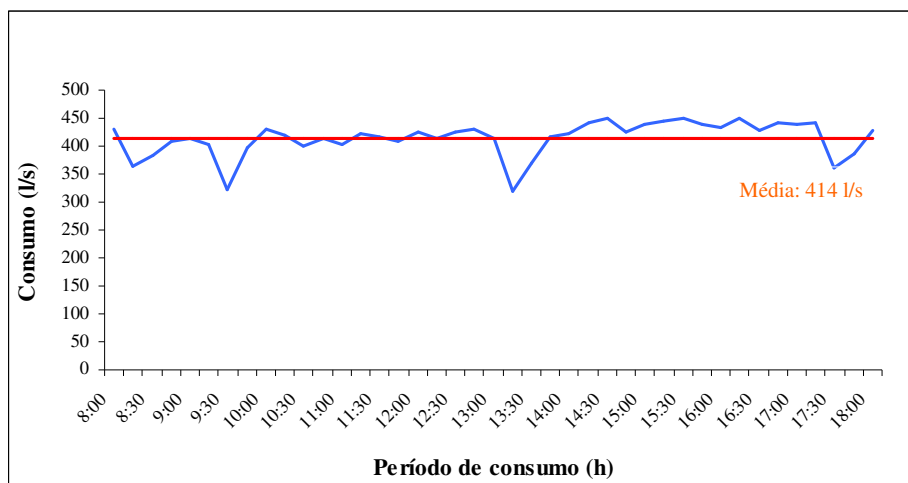
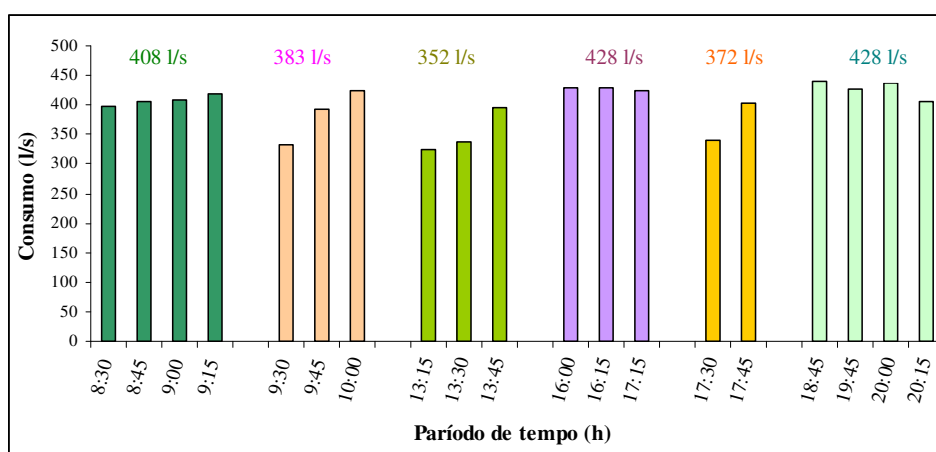


Figura 48. Perfil de consumo de ar comprimido na empresa no dia 13 de Junho de 2011.

O gráfico da figura 48 é um exemplo do que se obterá quando se traçar o perfil de consumo de ar comprimido na empresa. Isto, claro, após reunidas as condições para que o controlador de ar comprimido passe a armazenar os valores de consumo.

Os dados obtidos indicam que, nesse dia o consumo médio de ar comprimido foi de 414 litros por segundo. Apesar das flutuações no consumo que tem que ver necessariamente com o aumento ou diminuição de produção, este valor médio é o que normalmente se regista em dias normais de produção (foram realizados mais três ensaios).

O gráfico seguinte mostra o perfil de consumo de ar comprimido ao longo de um dia de trabalho, com destaque para diferentes períodos do dia, ou seja, períodos de pausas (pequeno-almoço, almoço e lanche) e períodos normais de produção.

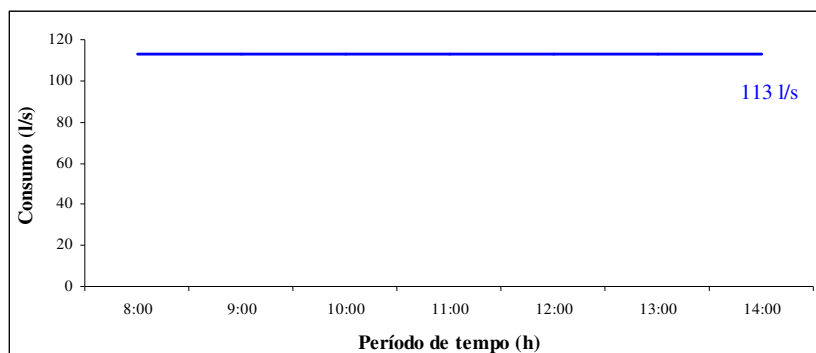


**Figura 49. Perfil diário de consumo de ar comprimido na empresa em diferentes períodos do dia.**

O perfil de consumo diário de ar comprimido, como se pode verificar através do gráfico da figura 49, segue um determinado padrão: durante a manhã o consumo é máximo, rondando os 400 l/s; esse consumo baixa ligeiramente às 9:30, hora de pausa para a produção, voltando à normalidade quinze minutos depois. O mesmo se sucede às 13:30, hora de fim e início de um novo turno, com os consumos a baixar para os 350 l/s, voltando a aumentar logo depois. Às 17:30 temos uma pausa para lanche e há uma ligeira diminuição no consumo de ar comprimido, que retoma o seu habitual consumo até ao fim do turno (21:00).

Esta é uma das situações que seria interessante esclarecer: como se comporta o consumo de ar neste período do dia em que há pouca produção (após as 20:15)? Questão que pode vir a ser esclarecida com a implementação desta medida.

O gráfico seguinte ainda faz parte do conjunto de perfis de consumo, mas diz respeito a um dia sem produção.



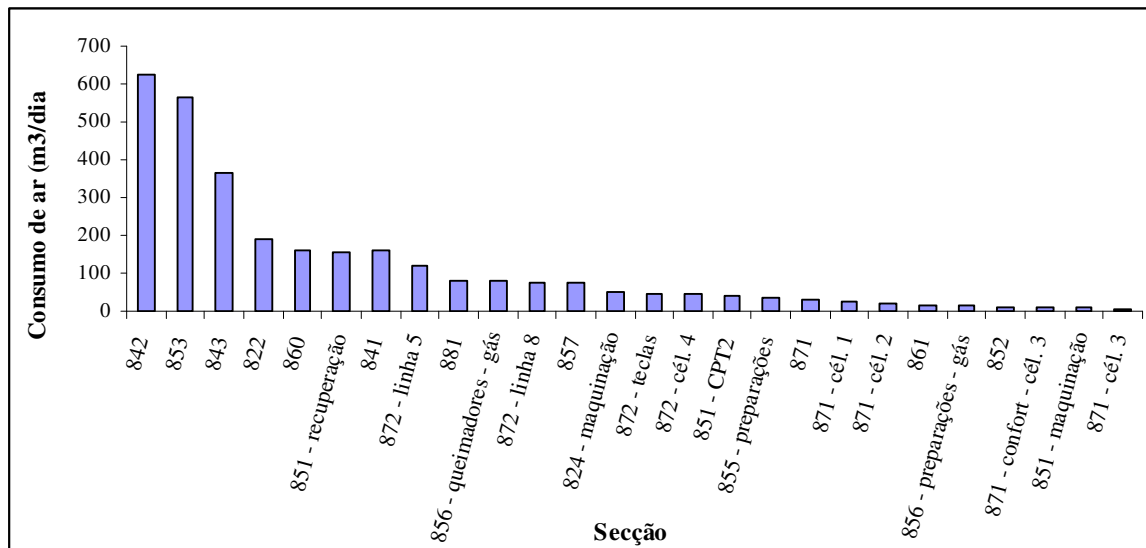
**Figura 50. Perfil de consumo de ar comprimido num dia sem produção (Sábado, 2 de Julho de 2011).**

O valor apresentado da figura 50, já conhecido, está associado a fugas e más utilizações de ar comprimido. Esta é outra situação que poderá vir a ser controlada aquando o acompanhamento regular do perfil de consumo de ar comprimido na empresa.

Não menos importante é traçar o **perfil de consumo de ar comprimido ao nível das secções**. De seguida será feito um estudo para uma secção piloto, a secção 853, a segunda secção que mais pontos de consumo de ar comprimido contém – 94, como se constatou com o levantamento dos pontos de consumo de ar comprimido efectuado na fábrica, a seguir à secção 842, com 108 pontos de consumo. A 853 foi a secção escolhida como padrão porque possui uma grande variedade de fugas, muitos equipamentos propícios ao aparecimento de fugas e também porque este assunto já foi abordado com o responsável de secção que se mostrou aberto a alterações na linha com vista ao aumento da eficiência energética na secção.

Se em cada linha ou secção fosse instalado um caudalímetro de ar que registasse e armazenasse os valores de consumo de ar comprimido, num dia sem produção poder-se-ia detectar esse consumo e criar um gráfico como o ilustrado na figura 51.

Pelo mesmo gráfico verifica-se que a secção 853 é a segunda pior no que respeita a fugas de ar comprimido, consumindo cerca de 560 m<sup>3</sup>/dia.



**Figura 51. Perfil de consumo de ar comprimido associado a fugas, por secção.**

A secção piloto vai então servir para verificar se todas as medidas propostas neste trabalho conduz ou não aos resultados pretendidos. Assim, assumindo que esta secção já possui um caudalímetro de ar, pretende-se levar a cabo as acções presentes na tabela seguinte.

**Tabela 28. Acções a implementar na secção piloto.**

Acção	Local de implementação	Comentários
Traçar o perfil de consumo de ar comprimido na secção durante uma semana, isto é, verificar qual o seu consumo diário nos diferentes períodos do dia, incluindo quando a secção está parada, para a detecção de fugas.	Secção 853	Instalação de um caudalímetro de ar na rede principal que abastece a secção
Verificação dos níveis actuais de pressão de ar e adequar essa pressão à verdadeira necessidade dos equipamentos, evitando o sobredimensionamento	Em todos os equipamentos da secção	Verificação a realizar por colaboradores especializados da empresa
Aplicação de válvula de corte nos 3 ATEQ's	ATEQ's dos postos 18, 14 e 35, da secção 853	Orçamento dado pelo electricista externo Carlos Matos
Aplicação de bocais de poupança de ar em pistolas de ar comprimido	7 das pistolas usadas esporadicamente para uma ou outra limpeza de peças	Poupança semanal: 1.9 kWh; 0.2 €; 0.7 kg de CO <sub>2</sub>
Substituição das pistolas existentes por pistolas de poupança de ar	10 pistolas com uso frequente, em toda a secção, para limpar as limalhas das peças	Poupança semanal: 30 kWh; 2.9 €; 20 kg de CO <sub>2</sub>
Realização de reunião com objectivo de estabelecer um plano para identificação e eliminação de fugas.	HSE	Apontar um responsável de turno para verificar e registar detalhadamente a existência de fugas na secção
Intensificação das rotinas de controlo para identificação de fugas de ar comprimido	Secção 853	Continuar com o trabalho por parte dos mecânicos em verificar a existência de fugas após manutenção habitual dos equipamentos.
Eliminação (rápida) das fugas de ar comprimido	Secção 853	Gastos semanal com as fugas de ar comprimido nesta secção: 52.5 kWh; 4.9 €; 21 kg de CO <sub>2</sub>
Desligar a válvula de seccionamento de ar comprimido	Secção 853	No final do último turno de trabalho, um responsável ficará encarregue de desligar a válvula de ar comprimido que alimenta a secção.

Depois de as acções apresentadas na tabela 28 serem tomadas é necessário um acompanhamento diário de modo a traçar-se o consumo de ar comprimido nessa secção. Posteriormente poder-se-á comparar os valores obtidos com os valores semanais que se



irão obter à posteriori. É aí que se verificará se os problemas com desperdícios de ar persistem e/ou como se comporta a secção em termos de eficiência energética.

Esta secção deverá servir como exemplo a todas as outras da fábrica. Assim, a empresa saberá quanto e onde gasta a energia sob a forma de ar comprimido. É necessário, portanto, que o sistema de medição seja preciso e detalhado de modo a não recorrer a estimativas pois, desse modo, é impossível avaliar esta acção para a eficiência energética.

## 7.9. Medidas de eficiência energética para os cinco grandes consumidores de energia

Relativamente à temperatura dos fornos, sugere-se uma redução do actual valor de temperatura de manutenção dos fornos, nos períodos de paragem, que deverá estar compreendido entre o seu valor actual (900 °C para o forno 4 e 750 °C para os fornos 3 e 5) e aquele a que os fornos são mantidos nos períodos de férias (150 °C), procurando estabelecer-se o melhor compromisso entre o tempo de arranque e as poupanças de energia resultantes da maior ou menor duração da paragem.

Admitindo, duma forma conservativa, que este compromisso se situará dentro dum intervalo de temperatura de manutenção da ordem dos 20 % dos actuais valores (ou seja, 600 °C para os fornos 3 e 5, e 720 °C, para o forno 4), a redução no consumo de electricidade dos fornos deverá ser de igual percentagem. Observemos a tabela seguinte.

**Tabela 29. Poupança de energia associada à redução da temperatura de manutenção nos fornos.**

Forno n.º	Consumo actual (kWh/dia)	Consumo previsto (kWh/dia)	Poupança		
			Consumo de energia (kWh/dia)	Custos (€/dia)	Emissões de CO <sub>2</sub> (ton/dia)
3	1 208.2	966.6	241.6	22.5	0.1
4	217.7	174.2	43.5	4.0	0.02
5	1 125	900.0	225.0	20.9	0.1
Total	2 550.9	2 040.8	510.1	47.4	0.2

Pela tabela 29 verifica-se que uma redução de 20 % da temperatura conduz a uma poupança total de energia na ordem dos 510 kWh/dia. Isto pode representar por ano 60 690 kWh (cerca de 5 644 € e 25 toneladas de CO<sub>2</sub>) ao invés dos actuais 303 557.1 kWh (cerca de 28 230 € e 126.4 toneladas de CO<sub>2</sub>).

A esta medida não está associado qualquer investimento, apenas é necessário mexer na programação das temperaturas em cada um dos fornos.

## 8. CONCLUSÕES

Esta dissertação apresenta uma contribuição para o estudo das medidas de eficiência energética na empresa, em particular no que diz respeito à utilização do ar comprimido na empresa Bosch Termotecnologia. Estas medidas abrangeram os maiores consumidores de energia: os três fornos, a linha de pintura e os compressores.

No estudo efectuado aos fornos de soldadura n.º 3, 4 e 5 verificou-se que baixando a temperatura de manutenção dos fornos, quando não estão em produção, em apenas 20 % conseguem-se poupanças, no seu total, na ordem dos 5 600 euros por ano.

Relativamente à linha de pintura, conclui-se que um acompanhamento adequado do consumo de gás natural, de modo a assegurar que este não fica ligado nos períodos sem produção, poderá evitar consumos desnecessários de energia.

Na realização desta dissertação, o trabalho esteve mais focado na parte na optimização dos sistemas de ar comprimido, pelo que se tem, por isso, um maior leque de medidas relacionadas com os equipamentos pneumáticos.

No estudo efectuado às rebitadoras pneumáticas conclui-se que a aplicação de uma válvula de corte é melhor solução comparando com a substituição da rebitadora pneumática por uma eléctrica. Apesar de as poupanças com a eléctrica serem ligeiramente maiores, o *payback* é muito superior dado o elevado investimento inicial. Deve-se, portanto, proceder à aplicação da válvula de corte nas 18 rebitadoras indicadas e a curto prazo, pois é uma medida de baixo investimento inicial e que conduz a poupanças enormes de energia, económicas e ambientais para a empresa.

Com o estudo efectuado às aparafusadoras facilmente se conclui que a utilização de aparafusadoras eléctricas ao invés das pneumáticas traz vantagens ambientais e económicas muito competitivas à empresa. No entanto, é inconcebível eliminar de uma só vez todas estas aparafusadoras pelo que se deve optar sempre por comprar uma aparafusadora eléctrica sempre que a necessidade de adquirir uma nova o permita.

Quanto aos ATEQ's, estes devem rapidamente sofrer uma alteração no seu sistema para evitar a fuga contínua de ar comprimido, através da aplicação de uma válvula de corte. Dado o seu investimento inicial, deve-se começar pelos ATEQ's mais problemáticos que são os que estão nas linhas 5 e 8 e na secção 841.

As pistolas são outro segmento que necessitam de intervenção a curto e médio prazo. Devem ser retiradas dos postos de trabalho as pistolas de ar comprimido que não têm uma função específica: 2 pistolas na secção 842, 1 na 843, 1 na 871 – retrabalhos, 2 na 872 – linha 5, 3 pistolas na secção 872 – linha 8, 1 na 881 e 1 pistola no parque de resíduos. Das três medidas propostas às pistolas de ar comprimido, a aplicação de um redutor de pressão é a que deve ser implementada primeiramente dado que o seu investimento inicial é baixo, sendo recuperado em apenas 4 meses, e as poupanças são significativas. A médio prazo sugere-se a implementação das outras duas medidas.

Não é novidade na empresa a existência de fugas de ar comprimido mas, no entanto, com a realização deste estudo/levantamento efectuado às fugas de ar comprimido, conclui-se que estas abrangem uma dimensão surpreendente na empresa, outrora desconhecida, correspondendo ao maior desperdício de energia na empresa. Tendo em conta um dia normal de produção, as fugas representam aproximadamente  $\frac{1}{4}$  do consumo de ar comprimido na fábrica. Constatou-se também que para além de todos os custos associados às fugas de ar comprimido, estas provocam uma queda na pressão do sistema, fazendo com que as ferramentas pneumáticas funcionem com menos eficiência, afectando o rendimento da produção.

Relativamente à secção piloto que irá ser implementada muito em breve na empresa, esta servirá como alavanca para determinar os próximos passos a dar na empresa em termos de medidas de eficiência energética. Esta secção abrange todas as medidas de optimização de ar comprimido e funcionará como um tipo de auditoria de energia onde já estão identificadas os equipamentos problemáticos em termos de eficiência, assim como o consumo da secção.

Traçar o perfil de consumo de ar comprimido, global e por secção, irá ajudar a identificar onde é que as perdas de energia estão a ocorrer, adequar as medidas propostas nesta dissertação a cada situação e implementá-las.

Ao longo desta dissertação verificaram-se também algumas incertezas quando à interpretação de resultados, nomeadamente a leitura dos gráficos de consumo de energia nos três fornos e na linha de pintura, em particular na identificação da situação de consumo mais comum, pois num universo de apenas duas semanas de medições existem diferenças muito grandes no comportamento das curvas de consumo.

São necessários estudos mais profundos, os quais implicam um analisador de consumo em cada um dos equipamentos considerados e num período de tempo mais alargado, abrangendo diferentes temporizações de funcionamento: em *stand-by* à noite e ao fim-de-semana e em produção.

Constatou-se a importância da utilização de outros estudos para comparar com os resultados obtidos neste trabalho, verificando-se que os resultados são muito consistentes entre si. Para além disso, a existência de informação em relatórios, apresentações técnicas, trabalhos científicos, entre outros, permitiram não só incentivar o estudo de novas medidas a implementar na empresa como também auxiliar a interpretação dos resultados.

Com todas estas medidas propostas consegue-se obter poupanças de 72 577 euros por ano. Além disso, permite evitar-se que 328 toneladas de CO<sub>2</sub> sejam emitidas para a atmosfera por ano, o que, comparando com as emissões no ano anterior (2010), aproximadamente 5 600 toneladas, representa 6.5 % de redução de emissões deste poluente, contribuindo para o objectivo inicial desta dissertação de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Além disso, tendo em conta as emissões deste poluente em 2007, de 1 990 toneladas, o que se poupa de CO<sub>2</sub> corresponde a 16.5 %, ou seja, superior ao objectivo imposto pelo Grupo Bosch em reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em 15 % até ao ano 2012.

A consciencialização e a educação são também instrumentos muito importantes e muito úteis na poupança de energia. Espera-se que estas medidas atractivas motivem todos os utilizadores de energia nas indústrias a implementar e reduzir os seus custos com a energia.

## 9. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para facilitar a realização de trabalhos futuros são necessários os seguintes aspectos:

- ✓ Instalar um contador de electricidade e outros de gás natural e gás propano para os fornos 3 e 5, respectivamente. Dado que estes dois fornos são consumidores intensivos de energia (térmica e eléctrica), sugere-se um acompanhamento para determinar regularmente o consumo específico de energia do forno (unidade de combustível/unidade de produção), de forma a acompanhar a evolução do seu desempenho e a detectar (e corrigir) situações anómalas.
- ✓ Definir responsáveis pelo manuseamento da rede de ar comprimido ao nível da rede fixa, das redes de distribuição principais, das redes de secção e nos postos de trabalho. Isto porque um dos problemas comuns é que toda a gente mexe na rede, adiciona ligações de tomadas de ar, acrescenta uma pistola de ar comprimido, repara uma fuga, entre outras situações. É necessário controlar estas situações.
- ✓ Definir responsáveis pela manutenção da rede.
- ✓ Na sequência deste trabalho sugere-se que seja definido um plano estratégico de manutenção/reparação de fugas de ar comprimido.
- ✓ Seleccionar um responsável de turno que, semanalmente e no fim do turno, faça uma verificação e registo da existência de fugas.
- ✓ Exigir às empresas fornecedoras que, aquando da concepção de um novo equipamento pneumático, a incorporação de cilindros pneumáticos de simples efeito com retorno por mola seja uma prioridade, a não ser que o trabalho com o novo equipamento exija cilindros de duplo efeito.

- ✓ Exigir às empresas fornecedoras que, aquando da concepção de um novo equipamento pneumático, incorporem válvulas de economia de ar complementadas com válvulas de pressão, nos cilindros pneumáticos.
- ✓ Estabelecer regras para aquisição de novos equipamentos as quais tenham em consideração o menor consumo possível de energia.
- ✓ Realizar um estudo que aborde a verdadeira necessidade de pressão nos equipamentos; seleccionar os que podem trabalhar a uma pressão inferior à pressão de rede (6 bar) e proceder à instalação de redutores de pressão.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- [1] Santos B., Ribeiro C., et. al. – *Ambiente e Energia*, 2002. PRONACI – Programa Nacional de Qualificação de Chefias Intermédias, edição 2002. Associação Empresarial de Portugal.
- [2] International Energy Agency, (2008). World Energy Outlook 2008. Disponível em: <http://www.worldenergyoutlook.org/2008.asp>. [Accessed 15 September 2009].
- [3] World Resources Institute. (2005) World Greenhouse Gas Emissions: 2005. Disponível em: <http://www.wri.org/chart/world-greenhouse-gas-emissions-2005> [Accessed 10 August 2009].
- [4] International Energy Agency, (2009). World Energy Outlook 2009. Disponível em: [http://www.iea.org/country/graphs/weo\\_2009/fig1-1.jpg](http://www.iea.org/country/graphs/weo_2009/fig1-1.jpg).
- [5] Jovane F, Yoshikawa H, Alting L, Boer CR, Westkamper E, Williams D, Tseng M, Seliger G, Paci AM (2008). *The Incoming Global Technological and Industrial Revolution Towards Competitive Sustainable Manufacturing*. CIRP Annals Manufacturing Technology 57: 641– 659.
- [6] Magueijo V., Fernandes M., Matos H., et. al – *Medidas de eficiência energética aplicáveis à indústria portuguesa: um enquadramento tecnológico sucinto*. Publicação editada no âmbito do SGCIE – Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia. Direcção Geral de Energia e Geologia. ADENE.
- [7] Consultado em <http://www.energy.eu/index.php#CO2-focus>.
- [8] Caracterização energética nacional, DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia. Consultado em <http://www.dgge.pt/>.
- [9] Pisco F. – *Novas tecnologias energéticas – Roadmap Portugal 2050*. E.value, 2011. Consultado em <http://www.lneg.pt/download/1794>.
- [10] *Declaração Ambiental 2009*, Bosch Termotecnologia SA. EMAS. Aveiro, 2009.



- [11] Monteiro, M. – Pegada de Carbono – Emissões de CO<sub>2</sub> na cadeia de valor da Bosch Termotecnologia S.A. Universidade de Aveiro, Galp energia, 2007/2008.
- [12] Saidur R., Rahim N.A., Hasanuzzaman M. (2009). *A review on compressed-air energy use and energy savings*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 14: 1135-1153, Malasya.
- [13] Documento consultado em [www.bosch.com.br/br/ferramentas\\_pneumaticas](http://www.bosch.com.br/br/ferramentas_pneumaticas). *Tecnologia de ar comprimido*, BOSCH – Tecnologia para a vida. São Paulo, 2008.
- [14] Factores de conversão e factores para cálculo da Intensidade Carbónica. Despacho n.º 17313/2008; Diário da República, 2.ª série – n.º 122 de 26 de Junho de 2008.
- [15] Witte L.C., Schmidt P.S., Brown D.R. – *Industrial Energy Management and Utilization*. Washington, 1987. Hemisphere Publishing Corporation. ISBN: 0-89116-322-0.
- [16] SMC, *Eficiência no custo da pneumática*, 2011.
- [17] Kaya D., Phelan P., Chau D., Sarac HI. – *Energy conservation in compressed-air systems*. International Journal of Energy Research 2002. 26:837 – 49.
- [18] SMC, *Wordwide leading experts in pneumatics*. Consultado em [www.smc.eu](http://www.smc.eu).
- [19] Cadet Energy Efficiency. *Compressed air savings by leakage reduction and efficient nozzles*. Consultado em <http://www.druckluft-effizient.de/downloads/dokumente/result-402.pdf>.
- [20] Regulamento da Gestão do Consumo de Energia, Exame da instalação – *Auditoria de Energia*, VULCANO Termo Domésticos, SA., 2006. EEP – Empresa de Estudos e Projectos Lda.
- [21] López G.E., Alonso J.R., et. Al. – *Manual de eficiência energética*, 2008, UNION FENOSA. Escuela de negocios. Depósito Legal: M-51519-2008.
- [22] Dockrill P., Friedrich F. – *Boilers and Heaters: Improving Energy Efficiency*. Natural Resources Canada's Office of Energy Efficiency (NRCan's OEE). Agosto, 2001.
- [23] Power Tools – *Energy Conservation CO<sub>2</sub> Reduction MtP*. Bosch, 2010.

[24] Amaro F. – *Avaliação de risco em sector produtivo*. Relatório elaborado no âmbito do curso de Técnico de Segurança e Higiene no Trabalho. Bosch Termotecnologia SA. Aveiro, 2011.

[25] Eurostat – *Energy, Transport and Environmental Indicators*, 2008.

[26] Silva M.M. – *Redução da Dependência Energética de Portugal. Um plano de acção sustentável 2010-2015*. 2009.